

Aus dem Departement für Nutztiere (Direktor: Prof. Dr. Dr. h. c. U. Braun)
und der Abteilung für Bildgebende Diagnostik (Leiter: Prof. Dr. P. Kircher)
der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

Arbeit unter Leitung von Prof. Dr. Dr. h. c. U. Braun und PD Dr. S. Ohlerth

**Computertomographische Untersuchung des Thorax von Kälbern
von der Geburt bis zum Alter von 105 Tagen**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde
der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von
Maximilian Abé
Tierarzt
aus Nürnberg, Deutschland

genehmigt auf Antrag von
Prof. Dr. Dr. h. c. U. Braun, Referent
PD Dr. S. Ohlerth, Korreferentin

Zürich, 2013
Zentralstelle der Studentenschaft

Für meine Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

1. ZUSAMMENFASSUNG	4
2. SUMMARY	6
3. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	7
4. LITERATURÜBERSICHT	9
4.1. Anatomische Grundlagen des Thorax	9
4.1.1. Skelett	9
4.1.2. Lunge und Mediastinum	10
4.1.3. Herz	10
4.1.4. Gefäße	11
4.1.5. Brustteil der Trachea	12
4.1.6. Brustteil des Oesophagus	13
4.1.7. Lymphatisches System	13
4.1.8. Thymus	15
4.2. Entwicklung und Reifung der bovinen Lunge	16
4.2.1. Pränatale Lungenentwicklung	16
4.2.2. Umstellung des fetalen Blutkreislaufs bei der Geburt	16
4.2.3. Strukturelle und funktionelle Reifung der Lunge nach der Geburt	18
4.3. CT-Untersuchung im Bereich des Thorax beim Menschen	19
4.4. CT-Untersuchung im Bereich des Thorax beim Tier	19
4.5. CT-Angiographie im Bereich des Thorax	22
4.6. Vermessung der anatomischen Strukturen innerhalb des Thorax	24
5. MATERIAL UND METHODIK	27
5.1. Untersuchte Tiere	27
5.2. Gesamtprojekt	27
5.3. Klinische Voruntersuchung	27
5.4. Einstellprophylaxe, Haltung und Fütterung	28
5.5. Computertomographische Untersuchung	28

5.5.1. Anästhesie für die computertomographische Untersuchung	29
5.5.2. Untersuchungsablauf	29
5.5.3. CT-Einstellungen	30
5.5.4. Bildbearbeitung und Auswertung	30
5.5.5. Messungen im Thorax	33
5.6. Euthanasie	38
5.7. Vergleich von CT-Bild und anatomischem Präparat	38
5.7.1. Vorbereitung der euthanasierten Kälber für die anatomische Untersuchung	39
5.7.2. Herstellung der anatomischen Schnitte	39
5.7.3. Vergleich der CT-Bilder mit den anatomischen Schnitten	39
5.8. Statistik	40
5.9. Zusammenarbeit mit anderen Instituten und Abteilungen	40
5.10. Tierversuchsbewilligung	41
6. ERGEBNISSE	42
6.1. Voruntersuchungen	42
6.2. Gesundheitszustand der Kälber im Verlauf der 105 Tage	42
6.3. Pathologisch-anatomische Befunde	43
6.4. Computertomographische Befunde	43
6.4.1. Knochenfenster	43
6.4.2. Weichteilfenster	45
6.4.3. Lungenfenster	56
6.5. Vergleich der CT-Aufnahmen mit den anatomischen Schnitten	67
6.5.1. Legende zu den Abbildungen	68
6.5.2. Transversalschnittanatomie des Thorax eines Kalbes	70
6.5.3. Sagittalschnittanatomie des Thorax eines Kalbes	81
6.5.4. Dorsalschnittanatomie des Thorax eines Kalbes	84
7. DISKUSSION	88
7.1. CT-Befunde	88
7.1.1. Knochenfenster	89
7.1.2. Weichteilfenster	89
7.1.3. Lungenfenster	92

7.2. Vergleich der CT-Befunde mit den anatomischen Schnittpräparaten	94
7.3. Schlussbemerkungen	94
8. LITERATURVERZEICHNIS	96
9. ANHANG	105
10. DANKSAGUNG	
11. LEBENSLAUF	

1. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde der Thorax von 6 männlichen Holstein-Friesian-Kälbern während der ersten 105 Lebenstage in regelmässigen Abständen von drei Wochen, insgesamt sechsmal, mit einem Mehrschicht-CT der siebten Generation computertomographisch untersucht. Für die bessere Abgrenzbarkeit der Herzkreislaufstrukturen wurde nach jeder Nativaufnahme zusätzlich eine CT-Angiographie durchgeführt. Vor der ersten Untersuchung wurden die Tiere klinisch untersucht, um sicherzustellen, dass sie gesund waren. Direkt im Anschluss an die letzte CT-Untersuchung im Alter von 105 Tagen wurden alle Kälber euthanasiert und vier der sechs Kälber analog zur Position während der CT-Untersuchung bei -18 °C eingefroren, um dorsale, transversale und sagittale anatomische Schnittpräparate mit einer Dicke zwischen 1 und 3 cm zu gewinnen. In einer vergleichenden Gegenüberstellung der CT-Bilder mit den anatomischen Schnittbildern konnten die im CT-Bild sicher zu identifizierenden Strukturen beschriftet werden. Die Querschnittanatomie des Thorax des Kalbes wurde in Form eines Bildatlas im Detail dargestellt. Darüber hinaus wurden durch die Vermessung der thorakalen Strukturen (knöcherner Thorax, Herz, Gefässe, Lunge, Trachea und Bronchien) im CT-Bild Normalwerte in Abhängigkeit vom Alter aufgestellt. Diese sollen als Hilfestellung für das Aufzeigen von abnormen Befunden dienen. Die Messmethoden wurden sowohl aus dem Bereich der Computertomographie als auch demjenigen des konventionellen Röntgens des Menschen und verschiedener Tierarten übernommen. Zusammenfassend konnten sie gut auf das Kalb übertragen und mit den bereits veröffentlichten Werten von Mensch und Tier verglichen werden. Um die Gewichts- und Grössenunterschiede zu eliminieren, wurden Grössenverhältnisse berechnet. Lediglich die Messungen innerhalb des Lungenparenchyms waren von limitierender Aussagekraft, da alle Kälber im Verlauf der Untersuchungen gering- bis hochgradige pathologische Lungenveränderungen zeigten. Hier eignete sich die Übertragung eines Schemas über die vier pathologischen Grundmuster im CT

der Lunge aus der Humanmedizin sehr gut, um die pathologisch-anatomischen Veränderungen innerhalb der Kälberlunge zu klassifizieren.

2. Summary

In this study, six male Holstein-Friesian calves underwent six serial thoracic computed tomography (CT) scans three weeks apart during the first 105 days of life using a 7th generation multi-layer tomograph. In addition to tomograms obtained without contrast enhancement, computed tomographic angiography was carried out for better differentiation of the circulatory system. All calves were clinically healthy at the start of the study. Immediately after the last examination, the calves were euthanized. Four calves were placed in the same position in which they had been scanned and then frozen at -18 °C. One- to three-centimeter-thick sections were obtained in the dorsal, transverse and sagittal plains. These sections served as a reference for the identification of structures seen on tomograms and aided in the creation of a detailed atlas of the cross-sectional anatomy of the thorax of the calf. Various thoracic structures including bones, heart, blood vessels, trachea and bronchi were measured to establish age-related tomographic reference values for calves. Measuring techniques were adopted from topographic as well as conventional radiographic studies in humans and other animal species and yielded values for calves that were generally comparable to those obtained in these species. Relationships between the sizes of various structures were calculated to minimise the effect of body weight and body size on measurements. Measurements within the lung parenchyma had limited usefulness because all calves had mild to severe pathological pulmonary changes during the study. The texture classification system used in human medicine, which distinguishes four patterns of abnormal opacity on CT scans, was useful for classification of pathological changes in the lungs of calves.

3. Einleitung und Zielsetzung

In der Humanmedizin stellt die Computertomographie (CT) die Methode der Wahl zur Beurteilung intrathorakaler und insbesondere pulmonaler Erkrankungen dar. Auch in der Veterinärmedizin hat sich die CT bereits zur routinemässigen Beurteilung von Nasenhöhle, Schädel, Gehirn und Extremitäten bei Klein- und Grosstieren etabliert. Mittlerweile findet sie insbesondere beim Kleintier auch vermehrte Anwendung bei der Untersuchung intrathorakaler Erkrankungen (AWAI und HORI, 2003; HENNINGER, 2003; JOHNSON et al., 2004; JOHNSON et al., 2005; PRATHER et al., 2005; SCHULLER et al., 2005; AU et al., 2006; WINTERS et al., 2006; TIDWELL et al., 2007; JUNG et al., 2010; SEILER et al., 2010; DENNLER et al., 2011; DREES et al., 2011; EBERLE et al., 2011; HABING et al., 2011). Die Ergebnisse der bisherigen Studien sind vielversprechend, da die CT einzigartige diagnostische Informationen liefert, die mit der konventionellen Röntgentechnik nicht zu erreichen sind (De RYCKE et al., 2005). In der Gross- und Nutztiermedizin bleibt die CT-Untersuchung des Thorax aufgrund des Grössenumfangs auf die jugendlichen, unausgewachsenen Tiere bzw. auf kleine Wiederkäuer und Neuweltkameliden beschränkt. Die hohen Untersuchungskosten und die Notwendigkeit einer Vollnarkose schränken die Anwendung im Bereich des Thorax bei Nutztieren weiter ein. Über die Anwendung dieses bildgebenden Verfahrens bei der Untersuchung intrathorakaler Erkrankungen des Kalbes existieren erst wenige Veröffentlichungen. LUBBERS et al. (2007) beschrieben die computertomographischen Befunde der Lunge von Kälbern nach experimenteller Infektion mit *Mannheimia haemolytica*. LINKE (2009) untersuchte die Lungenfunktion bei vitalen Kälbern in der frühen postnatalen Phase und BOSTEDT et al. (2009) untersuchten die Bedeutung der postnatalen Lungenentwicklung beim bovinen Neonaten für die Manifestation pulmonaler Affektionen. Gerade intrathorakale Erkrankungen spielen beim Kalb eine grosse Rolle. Zu nennen sind in erster Linie die verschiedenen Formen der Bronchopneumonie, aber auch Herzmissbildungen kommen regelmässig vor. Gelegentlich kann mit den herkömmlichen Me-

thoden wie klinische Untersuchung, Blutuntersuchung, Röntgen und Ultraschall keine klare Diagnose gestellt werden. Es besteht daher die Hoffnung, dass die Diagnostik auch beim Kalb mit Hilfe der computertomographischen Untersuchung verbessert werden kann. Da bislang das normale computertomographische Erscheinungsbild der intrathorakalen Strukturen beim Kalb nicht beschrieben wurde und sich Herz, Lunge und Gefäße in den ersten Lebensmonaten verändern, ist es das Ziel dieser Arbeit, die normale Querschnittanatomie des Kälberthorax im CT-Bild während der Entwicklung in den ersten 105 Lebenstagen zu beschreiben und damit eine Grundlage für die computertomographische Beurteilung der thorakalen Organe von Kälbern zu schaffen.

4. Literaturübersicht

4.1. Anatomische Grundlagen des Thorax

4.1.1. Skelett

Die knöcherne Begrenzung des Thorax erfolgt dorsal durch die Brustwirbelsäule, lateral durch die Rippen und ventral durch das Brustbein. Dieser knöcherne Brustkorb umschliesst die Brustkorbhöhle. Seine halsseitige Öffnung wird vom ersten Rippenpaar, dem ersten Brustwirbel und dem Manubrium sterni gebildet. Die hintere Öffnung wird durch den letzten Brustwirbel, den Rippenbogen und den Processus xiphoideus begrenzt und stellt den Übergang in die Bauchhöhle dar. In der Regel sind beim Rind 13 Brustwirbel vorhanden, jedoch variiert die Anzahl teilweise zwischen 12 und 14 Brustwirbeln. Die Crista ventralis der Brustwirbelkörper ist beim Rind, im Gegensatz zu den kleinen Wiederkäuern, deutlich ausgeprägt, und die kranialen und kaudalen Enden sind flach. Von den im Allgemeinen vorhandenen 13 Rippenpaaren sind 8 Rippen als sternale und 5 als asternale Rippen ausgebildet. Die Knorpel der sternalen Rippen sind direkt mit dem Brustbein verbunden. Die Knorpel der asternalen Rippen erreichen das Brustbein dahingegen nur indirekt, indem sie sich zum Rippenbogen zusammenlagern. Die Rippen des adulten Rindes sind sehr platt, weisen eine geringe Biegung auf, sind kranial und kaudal scharf berandet und an ihrem Sternalende breit. Im Gegensatz dazu haben die Rippen jugendlicher Tiere eine mehr rundliche Gestalt und sind schmaler und dicker als die der adulten Tiere. Das Brustbein besitzt beim Wiederkäuer eine dorsoventral abgeplattete Gestalt und besteht aus drei Abschnitten: dem Manubrium sterni, dem aus fünf Einzelkörpern bestehenden Corpus sterni und dem Processus xiphoideus. Der beim Fleischfresser, Schwein und Pferd ausgebildete Cartilago manubrii, kranial auf dem knöchernen Manubrium, fehlt beim Wiederkäuer ganz oder besteht nur als dünner Knorpelbelag. Im Gegensatz dazu besitzt der Processus xiphoideus einen breiten und platten Knorpel, die sogenannte Cartilago xiphoidea (NICKEL et al., 2001).

4.1.2. Lunge und Mediastinum

Die Lunge liegt in den beiden vom Brustfell gebildeten Brustfellsäcken, welche durch das Mediastinum, eine Scheidewand zwischen der linken und rechten Pleurahöhle, getrennt werden. Im Vergleich zu anderen Tierarten ist das Mediastinum beim Wiederkäuer sehr widerstandsfähig. Es wird mit dem Herz als Bezugspunkt in einen präkardialen, kardialen und postkardialen Abschnitt unterteilt. Beim Rind ist die linke Lungenhälfte in einen zweigeteilten kranialen und einen kaudalen Lungenlappen unterteilt; die rechte Lungenhälfte teilt sich zusätzlich noch in einen mittleren und einen akzessorischen Lungenlappen auf. Die Aufzweigung des Bronchialbaums erfolgt den Lungenlappen entsprechend mit der Besonderheit des Bronchus trachealis. Dieser, nur beim Wiederkäuer und Schwein vorkommende Bronchus, verlässt die Trachea unmittelbar kranial der Bifurkation und stellt den Lappenbronchus des rechten kranialen Lungenlappens dar (WAIBL, 1999). Die Lunge des Rindes wird genau wie die Lunge von Schaf und Schwein dem Lungentyp I zugeordnet. Charakteristisch für diesen Lungentyp sind die besonders gut ausgeprägten sekundären Lobuli, deutliche interlobuläre Septen und eine relativ dicke Pleura. Die Blutversorgung in diesem Lungentyp ist bronchovaskulär (McLAUGHLIN et al., 1961).

4.1.3. Herz

Das Herz ist das muskulöse Zentralorgan des Blutgefäßsystems und wird vom allseits geschlossenen Herzbeutel umhüllt. Herz und Herzbeutel sind in der Brusthöhle in den mittleren Abschnitt des Mittelfells eingefügt. Am Herzen werden ein rechter venöser und ein linker arterieller Teil unterschieden. Beide bestehen aus je einem Herzvorhof und je einer Herzkammer. Das Herz des Rindes hat, je nach Funktionszustand, die Gestalt eines gedrungenen oder mehr spitzen Kegels. Im Vergleich zu anderen Tierarten besitzt das Rind ein sowohl absolut als auch relativ kleines Herz. Beim Rind steht das Herz mit seiner Achse verhältnismässig steil in der Brusthöhle und reicht in kraniokaudaler Richtung von der dritten bis zur fünf-

ten oder auch sechsten Rippe. Die kraniodorsal gerichtete Herzbasis erreicht etwa die halbe Höhe des Brustraums. Da das Herz zu 5/7 links der Medianen liegt, berührt es die linke Brustwand im Bereich des vierten und fünften Interkostalraums. Charakteristische Merkmale des Rinderherzens sind je ein zum Herzskelett gehörender, grosser und kleiner Herzknochen (SCHUMMER und HABERMEHL, 1996).

4.1.4. Gefässe

Der Truncus pulmonalis führt als Arterie des Lungenkreislaufs das venöse Blut zur Lunge und entspringt aus dem Conus arteriosus des rechten Vorhofs. Er steigt zunächst links und kranial der Aorta im Herzbeutel auf, biegt ventral des Truncus brachiocephalicus nach kaudal ab und kreuzt dabei den Aortenbogen auf der linken Seite. An dieser Stelle ist der Truncus pulmonalis über das Ligamentum arteriosum, welches im fetalen Kreislauf den Ductus arteriosus bildete, mit der Aorta verbunden. Anschliessend teilt sich der Truncus pulmonalis wie beim Schwein rechts von der V. azygos sinistra in die A. pulmonalis sinistra und die A. pulmonalis dextra auf (WAIBL und WILKENS, 1996a). Die Vv. pulmonales führen das sauerstoffreiche Blut von der Lunge zum linken Vorhof des Herzens. Diese Venen entspringen in tierartlich unterschiedlicher Ausprägung aus dem linken Vorhof. Beim Rind sind häufig nur eine stärkere und zwei bis drei schwächere Lungenvenen vorhanden (WAIBL und WILKENS, 1996b). Die Aorta entspringt am Anulus fibrosus aortae aus der linken Herzkammer und entlässt aus dem entsprechenden Sinus aortae die Aa. coronariae dextra und sinistra. Als Aorta ascendens steigt sie rechterseits des Truncus pulmonalis auf und geht in den Arcus aortae über. Auf Höhe des fünften, sechsten oder siebten Brustwirbels erreicht der Aortenbogen etwas links der Medianen die Wirbelsäule und setzt sich ventral der Wirbelsäule im Mediastinum als Aorta descendens fort. Bis zum Eintritt in den Hiatus aorticus des Zwerchfells wird dieser Abschnitt als Aorta thoracica bezeichnet. Auf Höhe der vierten Rippe entspringt beim Rind der Truncus brachiocephalicus noch inner-

halb des Herzbeutels aus der Aorta. Dieser zieht ventrolateral der Trachea nach kranial und wird von der V. cava cranialis zunächst rechts und dann dorsal zum Brusteingang begleitet. Aus dem Truncus brachiocephalicus gehen beim Rind die A. subclavia sinistra, die A. subclavia dextra und der Truncus bicaroticus hervor (WAIBL und WILKENS, 1996a). Die V. cava cranialis entspringt kraniodorsal aus dem Sinus venarum cavarum des rechten Herzvorhofs. Sie stellt das entsprechende venöse Gefäß zum Truncus brachiocephalicus dar. Aus dem Anfangsabschnitt der V. cava cranialis entspringt bei den Wiederkäuern, Fleischfressern und Pferden die V. azygos dextra. Weiter kranial entspringen die Vv. costocervicales dextra und sinistra, die Vv. thoracicae internae dextra und sinistra, und im Bereich des Brusteingangs die Vv. subclaviae dextra und sinistra, die dann in die entsprechende V. axillaris dextra oder sinistra übergehen. Unmittelbar kranial des Brusteingangs gabelt sich die V. cava cranialis in die Vv. jugulares externae dextra und sinistra auf. Aus diesem Teilungswinkel entspringt beim Rind auch die V. jugularis interna und teilt sich anschliessend auch in einen linken und rechten Ast. Die V. cava caudalis entspringt kaudal aus dem Sinus venarum cavarum des rechten Herzvorhofs und verläuft in einer Serosafalte durch die rechte Pleurahöhle zum Foramen venae cavae des Zwerchfells, wo sie in die Bauchhöhle übertritt (WAIBL und WILKENS, 1996b).

4.1.5. Brustteil der Trachea

Der Brustteil der Trachea verläuft zwischen den beiden Brustfellsäcken im Mediastinum links und dorsal der V. cava cranialis. Nachdem sie den Aortenbogen rechts kreuzt, gabelt sich die Trachea dorsal der Herzbasis in Höhe des vierten bis sechsten Interkostalraums in die beiden Hauptbronchen und verzweigt sich in der Lunge (WAIBL, 1999).

4.1.6. Brustteil des Oesophagus

Der Brustteil des Oesophagus verläuft im Mediastinum, beginnend am Brusteingang bis zum Zwerchfell. Präkardial verläuft der Oesophagus dorsal der Trachea, zieht dann über die Luftröhrengabel und Herzbasis hinweg und erreicht in Höhe des achten Interkostalraums den Hiatus oesophagicus im Zwerchfell, wo er in die Bauchhöhle übertritt. Vor Erreichen des Zwerchfells lagert sich ihm von dorsal der auffallend lange Lymphonodus mediastinalis caudalis an.

4.1.7. Lymphatisches System

Das lymphatische System wird beim Rind innerhalb des Thorax in vier Lymphzentren mit den entsprechenden Lymphknoten unterteilt (Tab. 1). Einer der Lymphonodi mediastinales caudales ist beim Rind, wie auch beim kleinen Wiederkäuer, sehr lang und gelegentlich zweigeteilt. Seine Länge variiert zwischen 15 und 25 cm (VOLLMERHAUS, 1996).

Tab.1: Lymphatisches System im Brustraum des Rindes

Lymphzentren	Lymphknoten (Anzahl)	Lage
Lc. thoracicum dorsale	Lnn. thoracici aortici (wechselnde Anzahl)	Dorsal der Aorta
	Lnn. intercostales (je Interkostalraum 1, selten 2)	Auf Höhe der Rippenkopfgelenke (beidseits)
Lc. thoracicum ventrale	Ln. sternalis cranialis (1 Paar, selten unpaar)	Auf dem Manubrium sterni (beidseits)
	Lnn. sternales caudales (1 bis 5 unter M. transversus thoracis) (2 bis 5 über M. transversus thoracis)	Unter und über dem M. transversus thoracis kurz vor dem Zwerchfellansatz

Fortsetzung Tab. 1

Lymphzentren	Lymphknoten (Anzahl)	Lage
Lc. mediastinale	Lnn. mediastinales craniales (wechselnde Zahl; Gliederung links- und rechts verschieden)	Im präkardialen Mittel- fell
	Lnn. mediastinales medii (2 bis 5, nur von rechts sichtbar)	Rechtsseitig über der Herzbasis
	Lnn. mediastinales caudales (1 sehr langer, gelegentlich zweige- teilter und 2 bis 3 kleinere Knoten)	Zwischen der Aorta tho- racica und dem Oesopha- gus bis zum Zwerchfell reichend
	Ln. phrenicus (bis zu 4)*	Brusthöhlenständige Flä- che des Zwerchfells
Lc. bronchale	Ln. bifurcationis sinister (1)	Kaudal vom Lig. arterio- sum zwischen Bifurkati- on und Truncus pulmo- nalis
	Ln. bifurcationis medius (1)*	Dorsal auf der Tracheabi- furkation
	Ln. bifurcationis dexter (1)*	Vor dem Abgang des rechten Stammbronchus
	Ln. tracheobronchialis cranialis (1, selten 2)	Ventral des Bronchus trachealis
	Lnn. pulmonales (1)*	An beiden Stammbron- chien bedeckt von Lun- gengewebe

* = Vorkommen inkonstant

4.1.8. Thymus

Der Thymus ist ein lymphoepitheliales Organ. Die kleinste makroskopisch wahrnehmbare Einheit des Thymus wird von den Thymusläppchen gebildet, die sich durch lockeres Bindegewebe zu Lappen höherer Ordnung zusammenfügen. Jedes Thymusläppchen besteht aus Rinde und Mark. Beim Kalb besteht der Thymus aus drei Teilen, dem Brust-, Hals- und Kopfteil. Der unpaare Brustthymus liegt leicht linksseitig in der dorsalen Hälfte des präkardialen Mediastinums. Er ist mit dem Halsthymus über eine linksseitig der Trachea liegende Parenchymbrücke verbunden. Der Halsthymus stellt beim Kalb den grössten Abschnitt dar. Er besteht aus einem brustseitigen unpaaren Abschnitt und den beiden kopfseitig gelegenen paarigen Halslappen. Insgesamt reicht der Halsthymus vom Brusteingang bis kaudal an die Schilddrüse. Der paarige Kopfteil ist mit den beiden Halslappen ebenfalls über eine jeweilige Parenchymbrücke verbunden. Der Kopfteil kommt ausschliesslich beim Rind und Schwein vor; er ist allerdings nur bis zum Ende der intrauterinen Entwicklung nachweisbar. Die von kranial nach kaudal verlaufende Involution des extrauterin verbliebenen Thymusgewebes setzt ca. sieben bis acht Wochen post natum ein. Dabei wird das eigentliche Thymusgewebe durch Bindegewebe und Fettgewebe ersetzt. Der so entstandene Thymusfettkörper kann beim Rind bis zum Alter von sechs Jahren und mehr mit einzelnen aktiven Parenchymbezirken bestehen bleiben (VOLLMERHAUS, 1996). Die Blutversorgung des Rinderthymus erfolgt im Brustteil durch den Truncus brachiocephalicus, die A. thoracica interna sinistra, die A. vertebralis und den Truncus costocervicalis. Der venöse Abfluss ist über einen Ast, der direkt in die V. cava cranialis mündet, gegeben. Die Blutversorgung des Halsthymus wird durch Seitenzweige aus kleineren Arterien für Oesophagus und Trachea sowie für die ventrale Halsmuskulatur gewährleistet. Der Kopfhymus erhält indirekte oder direkte Äste aus der A. carotis communis. Die Venen des Hals- und Kopfhymus münden in der Regel in die beiden Vv. jugulares internae (DENIZ, 1964).

4.2. Entwicklung und Reifung der bovinen Lunge

4.2.1. Pränatale Lungenentwicklung

Die pränatale Lungenentwicklung wird beim Säugetier allgemein in fünf Stadien eingeteilt. Beim Rinderfetus wird als embryonale Entwicklungsperiode der Lunge der Zeitraum zwischen dem 30. und 50. Trächtigkeitstag bezeichnet. Die pseudoglanduläre Periode dauert vom 50. bis 120., die kanalikuläre vom 120. bis 180. und die Phase der Endblindsäcke vom 180. bis 240. Trächtigkeitstag. Um den 210. Trächtigkeitstag sind bereits unreife Pneumozyten vom Typ I und II vorhanden. Die Entwicklung der Alveolen setzt um den 240. Trächtigkeitstag ein und setzt sich postpartal auf unbestimmte Zeit fort. Die Differenzierung der Lunge erfolgt in den ersten Stufen der Entwicklung in zentrifugaler Richtung, während die Alveolarisierung in zentripetaler Richtung fortschreitet (DE ZABALA und WEINMAN, 1984). Besondere Bedeutung bei der Reifung der fetalen Lunge kommt den Glukokortikoiden zu. Über verschiedene Mechanismen führen diese beim Fetus zur gesteigerten strukturellen Reifung der Lunge und dabei vor allem zur Synthese der verschiedenen Surfactantkomponenten in den Pneumozyten des Typs II sowie zur Erhöhung der Lungendehnbarkeit durch Elastinvermehrung. Darüber hinaus wird die Rückresorption der intrapulmonalen Flüssigkeit bei der Geburt gefördert (BALLARD und BALLARD, 1995). Die durch Glukokortikoide gesteigerte Lungenreifung lässt sich in Situationen, bei denen eine schwere Erkrankung des Muttertieres eine frühere Entbindung bzw. Einleitung der Geburt erforderlich macht, beim Rind ab dem 230. Trächtigkeitstag auch klinisch nutzen (ZERBE et al., 2008).

4.2.2. Umstellung des fetalen Blutkreislaufs bei der Geburt

Während der intrauterinen Entwicklung wird die Sauerstoffversorgung des Fetus durch die Plazenta und den maternalen Organismus gewährleistet. Über die Nabelschnur und im weiteren Verlauf über die V. cava caudalis gelangt das mit Sauerstoff und Nährstoffen angereicherte Blut zum rechten Vorhof des fetalen Herzens.

Dort wird der Grossteil des Blutvolumens direkt über das Foramen ovale in die Aorta und somit in den Körperkreislauf des Fetus geleitet. Ein kleiner verbleibender Teil vermischt sich mit dem aus den kranialen Körperpartien kommenden Blut der V. cava cranialis und fliesst in die rechte Herzkammer. Von dort gelangt das Blut aufgrund des noch hohen Widerstands in der funktionslosen, flüssigkeitsgefüllten Lunge des Fetus über den Ductus arteriosus Botalli, unter Umgehung des Lungenkreislaufs, direkt in die Aorta. Die Durchblutung der Lunge erfolgt zu diesem Zeitpunkt rein nutritiv (LINDI, 1960; KASARI, 1994). Durch das Abreissen der Nabelschnur bei der Geburt wird die feto-maternale Verbindung getrennt. Daraufhin kommt es im Fetus zu Sauerstoffmangel und zu einer Anreicherung von Laktat und Kohlenstoffdioxid im Blut. Die Folge ist eine respiratorische und metabolische Azidose (BLEUL et al., 2007). Der Überschuss an Kohlensäure reizt die Rezeptoren im Atmungszentrum der Medulla oblongata und die Sauerstoffatmung wird erstmalig ausgelöst (RÜSSE, 1991). Intrauterin sind die Alveolen und luftleitenden Wege noch komplett mit der vom Lungengewebe direkt sezernierten Flüssigkeit ausgefüllt (ADAMS et al., 1969; ADAMSON et al., 1969). Durch die Belüftung der Lunge bei der Geburt wird der Grossteil der Flüssigkeit über die Alveolarwände absorbiert und die Lunge entfaltet sich (EGAN et al., 1975). Dadurch wird der pulmonale Widerstand erheblich gesenkt und es folgt eine vermehrte Durchblutung der Lunge. Die gesteigerte Durchblutung der Lunge bedingt einen vermehrten Blutrückstrom zum linken Herzen, wodurch der Druck im linken Vorhof über den Druck im rechten Vorhof ansteigt und das Foramen ovale funktionell verschlossen wird (DETTWEILER und RIEDESEL, 1993). Aufgrund der hämodynamischen Veränderung und des steigenden Sauerstoffpartialdrucks kommt es reflektorisch auch zum Versiegen des Blutflusses im Ductus arteriosus Botalli (KENNEDY und CLARK, 1941; BORN et al., 1956), wodurch die komplette Umstellung auf den Lungenkreislauf abgeschlossen ist.

4.2.3. Strukturelle und funktionelle Reifung der Lunge nach der Geburt

Bei einem ausgetragenen Kalb ist die morphologische Grundstruktur der Lunge zum Zeitpunkt der Geburt im Wesentlichen vollständig entwickelt, die Reifung allerdings noch nicht abgeschlossen. Zum Zeitpunkt der Geburt verfügt die Kälberlunge über ungefähr $5 - 10 \times 10^9$ Alveolen, was einer Gasaustauschoberfläche von 120 bis 150 m² entspricht. Mit steigendem Alter nimmt die Anzahl der Alveolen stetig zu und mit zunehmendem Körperwachstum vergrößern sich auch die Oberfläche der Alveolen sowie der Durchmesser und die Länge der terminalen Bronchien. Auch das absolute Lungenvolumen vergrößert sich mit dem Wachstum der Tiere, obwohl sich das spezifische Lungenvolumen, welches als Lungenvolumen pro Körpergewicht definiert ist, vermindert. Die Alveolendichte sowie die Dichte an luftleitenden Wegen und Gefässen bleiben aufgrund des Lungenwachstums insgesamt weitgehend unverändert (CASTLEMAN und LAY, 1990). Durch die Abnahme der Strömungswiderstände in den Atemwegen, durch Zunahme der Dehnbarkeit des Lungen-Thorax-Systems und durch Intensivierung des Gasaustausches ist ein gesundes neugeborenes Kalb in der Lage, seine respiratorischen Funktionen soweit an das extrauterine Leben anzupassen, dass nach 24 Stunden weitgehend physiologische Blutgasverhältnisse vorliegen (UYSTER-PRUYST et al. 2000). Nichtsdestotrotz werden endgültige physiologische Werte beim Rind erst mit abgeschlossener funktioneller Reifung der Lunge im Alter von ca. einem Jahr bzw. mit einer Körpermasse von ca. 300 Kilogramm erreicht (LEKEUX et al., 1984; GUSTIN et al., 1988). Neueste computertomographische Untersuchungen über die Erfassung der Lungenfunktion bei vitalen Kälbern in der frühen postnatalen Periode zeigen, dass es zwischen der ersten Lebensminute und der ersten Lebensstunde aufgrund noch kollabierter Lungenbezirke zur höchsten Minderung der Röntgenstrahlabsorption in der gesamten Lunge kommt, dass die Ausweitung der Gasaustauschfläche von kranial nach kaudal und von dorsal nach ventral verläuft und dass die komplette Belüftung der bovinen Lunge rund 14 Tage in Anspruch nimmt (BOSTEDT et al., 2009; LINKE, 2009). Vor der Untersu-

chung mittels Computertomographie wurde die vollständige Belüftung anhand von Röntgenaufnahmen zwölf Stunden post natum als abgeschlossen angesehen (JUNG, 2002).

4.3. CT-Untersuchung im Bereich des Thorax beim Menschen

In der Humanmedizin hat sich die computertomographische Untersuchung des Thorax als verlässliche, nicht invasive Untersuchungstechnik weitgehend etabliert und gilt als Goldstandard bei der Diagnostik von Lungenerkrankungen (COLLINS, 2001). Die Möglichkeiten der exakten Evaluation von pathologischen Veränderungen innerhalb der Lunge haben sich vor allem durch die Entwicklung der hochauflösenden Computertomographie ergeben, bei der sehr dünne Körperschichten eingeblendet, erhöhte Expositionswerte und ein sehr feiner Rechenalgorithmus zur Rekonstruktion verwendet werden (SCHWARZ und TIDWELL, 1999). Eingeteilt werden die pathologischen Veränderungen innerhalb der menschlichen Lunge im CT-Bild in vier Grundmuster (JACOBI und THALHAMMER, 2006; REUTER und BIEDERER, 2009). Die genaue Beschreibung und bildliche Darstellung dieser Muster wurde bereits in der Dissertation von BECKER-BIRCK (2009) dargestellt und soll hier nicht erneut beschrieben werden.

4.4. CT-Untersuchung im Bereich des Thorax beim Tier

In der Kleintiermedizin gewinnt die Computertomographie als bildgebendes Verfahren für die Diagnostik intrathorakaler Erkrankungen stetig an Bedeutung. Die genaue Interpretation der CT-Bilder setzt allerdings eine genaue Kenntnis der Querschnittanatomie voraus (ZOOK et al., 1989; DE RYCKE et al., 2005). Seit der Veröffentlichung der normalen Querschnittanatomie des felines Thorax im CT (SAMII et al., 1998) liessen sich Atelektasen, Vergrößerung der bronchialen Lymphknoten, Bronchialkarzinome sowie Entzündungen der Lunge bei der Katze mit Hilfe der computertomographischen Untersuchung sicher diagnostizieren

(HENNINGER, 2003). Auch für den Hund ist das normale Erscheinungsbild der thorakalen Strukturen im CT genau beschrieben (FIKE et al., 1980; ZOOK et al., 1989; DE RYCKE et al., 2005; RIVERO et al., 2005). Zudem existieren Bildbände, welche als anatomische Referenz für die Diagnostik dienen (FEENEY et al., 1991; SMALLWOOD und GEORGE, 1993; ASSHEUER und SAGER, 1997). Eine erste klinische Anwendung im Bereich des Thorax beim Hund fand die Computertomographie zur Untersuchung der Aspirationspneumonie (PUNTO et al., 1984). Daraufhin folgte die computertomographische Auswertung weiterer intrathorakaler Krankheiten (BURK, 1991; SCHWARZ und TIDWELL, 1999). Die normale Querschnittanatomie der Hundelunge wurde erstmals 2003 mittels HRCT (High resolution computed tomography) beschrieben (MORANDI et al., 2003). Seither wurde die CT-Untersuchung beim Hund zur Diagnose von metastatischen Bronchialkarzinomen verwendet und es wurde erstmals das Schema der vier pathologischen Grundmuster im CT der Lunge aus der Humanmedizin auf das Tier übertragen (JOHNSON et al., 2004). Die nach diesem Schema festgehaltenen Lungenbefunde korrelierten eng mit den pathologischen Veränderungen. Im Weiteren wurden die Veränderungen in der Lunge von Hunden mit idiopathischer pulmonärer Fibrose mittels CT untersucht und in Verbindung mit den klinischen Symptomen gebracht (JOHNSON et al., 2005). Ebenso konnte mittels CT eine Erkrankung der kleinen Luftwege anhand von dilatierten Bronchien und Bronchiolen mit einer verdickten Wand aufgezeigt werden (WINTERS et al., 2006). Neueste Untersuchungen beschreiben die computertomographisch erfassbaren Veränderungen im Thorax von Hunden nach der experimentellen Infektion mit *Angiostrongylus vasorum* (DENNLER et al., 2011) sowie die Veränderungen in der präpatenten und frühpatenten Phase nach der Infektion mit *Dirofilaria immitis* (SEILER et al., 2010). Die Computertomographie erlaubte in diesen Fällen eine sehr genaue Charakterisierung der Veränderungen. Ebenso korrelierten auch hier die CT-Befunde eng mit der Histopathologie. Beim Gross- und Nutztier gewinnt die computertomographische Untersuchung des Thorax zunehmend an Bedeutung.

In den meisten Fällen bleibt sie jedoch aufgrund des Grössenumfangs der Tiere auf juvenile, nicht ausgewachsene Tiere beschränkt. Beim Rind wurde der Thorax von zehn Kälbern computertomographisch untersucht, um nach einer experimentellen Infektion mit *Mannheimia haemolytica* die pathologischen Veränderungen in der Lunge zu verfolgen (LUBBERS et al., 2007). Dabei erwies sich die Computertomographie als einzigartige Möglichkeit zur seriellen Untersuchung der Lungenveränderungen. Ebenso wurde die Bedeutung des zuvor beschriebenen protrahierten Verlaufs der postnatalen Lungenentwicklung beim bovinen Neonaten für die Manifestation pulmonaler Affektionen abgeklärt. Dafür wurde der Thorax von Kälbern, die in den ersten drei Lebenswochen an einer Lungenentzündung erkrankt waren, in regelmässigen Abständen nach Auftreten der ersten klinischen Symptome mittels CT untersucht. Es wurde festgestellt, dass nach der Geburt nicht voll belüftete Lungenareale besonders stark in die Entzündungsprozesse einbezogen wurden und dass somit beim Kalb biologisch bedingt eine Prädisposition für Lungenaffektionen besteht (BOSTEDT et al., 2009). Bisher existieren keine Untersuchungen, die sich beim Kalb speziell mit der Darstellung der Querschnittsanatomie des normalen Thorax im CT und der analogen Darstellung mittels anatomischen Gefrierschnitten befassen. Beim Schwein hingegen wurde die Eignung der computertomographischen Untersuchung für die Darstellung der Lunge überprüft und eine Referenz für die Bildinterpretation erarbeitet (BRAUER et al., 2011). Darauf aufbauend soll in weiteren Projekten die Diagnostik von Atemwegserkrankungen beim Schwein mittels CT erforscht werden, um als alternatives Diagnostikum zur Sektion ausgewählter Tiere zu fungieren. Bei der Ziege wurde die Anwendung der Computertomographie im Bereich des Thorax als erstes bei zwei Nubierziegen für die Darstellung der normalen thorakalen Querschnittsanatomie beschrieben (SMALLWOOD und HEALEY, 1982). Die Ziegen dienten dabei als Modell, um die anatomischen Kenntnisse zur Entwicklung einer Herzprothese für die Humanmedizin zu vertiefen. In ähnlichen, neueren Arbeiten wurden die CT-Schnittbilder des Thorax zusätzlich noch mit anatomischen Gefrierschnitt-

ten desselben Tieres verglichen und eine Grundlage für die CT-Bildinterpretation bei der Ziege geschaffen (ALSAFY, 2008; BECKER-BIRCK, 2009). Im Weiteren wurden die computertomographisch erkennbaren Lungenveränderungen bei der Ziege beschrieben (OHLERTH et al., 2010). Dafür wurde das für den Hund modifizierte Klassifizierungssystem (JOHNSON et al., 2004) aus der Humanmedizin für den Lungentyp der Ziege abgewandelt. Darüber hinaus wurde ein Schema für die subjektive Einteilung der Lungenveränderungen in Schweregrade vorgeschlagen. In Fallberichten wurden die CT-Befunde bei je einer Ziege mit Thymom (BRAUN et al., 2009) bzw. extraskelletalem intrathorakalem Osteosarkom (BRAUN et al., 2011) und bei je einem Alpaka (ADOLF et al., 2001) und einem Fohlen (WION et al., 2001) mit intrathorakalem Abszess beschrieben.

4.5. CT-Angiographie im Bereich des Thorax

Die Spiral-CT-Angiographie (computertomographische Angiographie, CTA) ist eine technisch einfache, minimalinvasive und sehr sensitive Methode, um das Gefäßsystem zu untersuchen (GHAYE et al., 2002). Das Hauptziel bei der CTA ist eine ausreichende Kontrastmittelanreicherung in den Blutgefäßen der zu untersuchenden anatomischen Struktur zum Zeitpunkt der CT-Aufnahme. Wie stark und diagnostisch verwertbar sich das Kontrastmittel in den entsprechenden Blutgefäßen anreichert, ist von diversen Faktoren abhängig. Der Herzauswurf und das Körpergewicht des Patienten sowie die Injektionsrate, definiert als Kontrastmittelvolumen pro Zeiteinheit, die Injektionsdauer, die Konzentration, die Gesamtmenge des Kontrastmittels und das für die Applikation verwendete Blutgefäß spielen eine entscheidende Rolle. Eine effiziente Methode für die Kontrastmittelapplikation ist das Bolustracking. Dabei wird die Anflutung des Kontrastmittels in einem vorher festgelegten Messbezirk (Region of Interest, ROI) durch wiederholte Niedrigdosisbildakquisitionen und Dichtemessungen bestimmt. Steigt die Dichte in diesem Bereich über einen vorher definierten Wert an, wird die CT-Aufnahme automatisch gestartet (BAE, 2010). Zur Minimierung von Bewegungsartefakten soll-

ten alle Untersuchungen soweit möglich in strikt gehaltener Apnoe durchgeführt werden (REMY-JARDIN und REMY, 1999). Bei der Untersuchung der Lunge sollten die Patienten aufgrund des direkten Zusammenhangs zwischen der Kontrastmittelanreicherung und dem Grad des Widerstands in den pulmonalen Arterien in maximaler Inspiration untersucht werden (HUGHES et al., 1968). Seit der Einführung der Mehrschicht CT-Angiographie (Multidetektor computertomographische Angiographie, MDCTA) gilt diese Untersuchungsmethode in der Humanmedizin als Goldstandard bei der Diagnostik von Lungenembolien; sie wird in bestimmten Situationen durch die tomographische Variante der Szintigraphie (Ventilations/Perfusions-Single-Photon-Emissionscomputertomographie, [V]/[Q]-SPECT) ersetzt (LEBLANC und PAUL, 2010). Neben thromboembolischen Erkrankungen findet die MDCTA als bildgebendes Verfahren in der Humanmedizin weitere Anwendung im Bereich des Thorax bei Neoplasien, pulmonaler Hypertonie, Aneurysmen, Atelektasen und erblich bedingten Erkrankungen wie Gefäßanomalien, Gefäßstenosen und Gefäßatresien (REMY-JARDIN und REMY, 1999). Die Anwendung in der Veterinärmedizin ist vor allem für die Kleintiermedizin beschrieben. Dabei stellen insbesondere die rasse- und speziebedingten Gewichts- und kardiovaskulären Unterschiede eine besondere Herausforderung dar und erschweren die Erarbeitung von allgemein gültigen Untersuchungsprotokollen. Kürzlich wurde der Effekt der Injektionsdauer auf die Kontrastmittelanreicherung in den Lungenarterien bei Hunden unterschiedlicher Gewichtsklassen bei fixer Injektionsrate und bei an die Scandauer angepasster Injektionsrate untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass bei unterschiedlichem Körpergewicht nur die Anpassung der Injektionsdauer an die Scandauer zu diagnostisch verwertbaren Ergebnissen führt (MAKARA et al., 2011). Die CTA wurde beim Hund auch dazu verwendet, um die Häufigkeit von Lungenembolien nach zementiertem im Vergleich zu unzementiertem Hüftersatz (TIDWELL et al., 2007) und das Auftreten von Lungenembolien nach experimenteller Infektion mit *Dirofilaria immitis* (JUNG et al., 2010) zu ermitteln. Im Weiteren wurde über die Lungenangio-

graphie von gesunden Hunden mittels 16- MDCT (HABING et al., 2011) respektive 64-MDCT (DREES et al., 2011) berichtet. Durch diese moderne Untersuchungstechnik war es möglich, die Aufzweigungen der Lungenarterien bis hin zur 5., teilweise sogar 7. Arteriengeneration anzusprechen und dementsprechend auch Veränderungen zu erkennen. Auch bei der Diagnose von kardiovaskulären Anomalien, wie persistierendem Ductus arteriosus Botalli und persistierendem rechtem Aortenbogen, wurde die MDCTA bei Hund und Katze erfolgreich angewendet (HENJES et al., 2011). Die MDCTA gab dabei Aufschluss über die genaue Morphologie, Lokalisation und Ausdehnung der veränderten Strukturen und war somit hilfreich bei der Prognosestellung und der Planung von chirurgischen Interventionen. Für die Anwendung der CTA im Bereich des Thorax beim Grosstier, insbesondere beim Rind, sind nach unserem Wissensstand zum jetzigen Zeitpunkt keine weiterführenden Studien bekannt. Beim Rind wurde die CTA vorerst nur angewendet, um den aus der Humanmedizin bekannten Effekt der Kontrastverstärkung durch die Verabreichung von zusätzlicher Kochsalzlösung (Saline Chasser) nach Kontrastmittelgabe beim Kalb zu überprüfen (LEE et al., 2010). Die Auswirkungen auf die Kontrastierung wurden im Sinus maxillaris und der A. maxillaris gemessen. Im Endeffekt konnte eine signifikante Verstärkung des Kontrasts durch die intravenöse Verabreichung von Kochsalzlösung im direkten Anschluss an das eigentliche Kontrastmittel mit einem Doppelkolben-Injektorsystem auch beim Rind gezeigt werden.

4.6. Vermessung der anatomischen Strukturen innerhalb des Thorax

Beim Kalb wurden, neben dem Kopf, der Schulterregion, den Gliedmassen und dem Becken, die Ausmasse des knöchernen Thorax computertomographisch vermessen (BECKER et al., 2010). Das Ziel war es abzuklären, ob von bestimmten, bei der Geburtshilfe palpierbaren Körperregionen, auf die Grösse anderer, nicht erreichbarer Körperteile und somit auf den Geburtsverlauf geschlossen werden kann. Die Untersuchungen bestätigten schon länger bekannte Erkenntnisse, dass

die Schultern und der Thorax die grössten Abmessungen aufweisen und somit den grössten Einfluss auf den Geburtsverlauf haben (NUGENT et al., 1991). Es ergab sich allerdings nur eine schwache Korrelation zwischen Körpergewicht und Thoraxhöhe bzw. Schulterbreite. Bei der Ziege wurden die CT-Bilder von 26 gesunden Saanenziegen vermessen (OHLERTH et al., 2010). Dabei wurden im Knochenfenster die Thoraxhöhe, die Thoraxbreite, die Länge des Brustwirbels, auf dessen Höhe die Tracheabifurkation lag, und der Winkel der Trachea zur Wirbelsäule bestimmt. Im Weichteilfenster wurden die maximale Herzbreite und -höhe, die vertebrale Herzgrösse (Vertebral Heart Score, VHS) und die maximalen Durchmesser der V. cava cranialis, der V. cava caudalis und der Aorta thoracica bestimmt. Zudem wurden die Höhe und Breite des grossen Ln. mediastinalis caudalis gemessen. Im Lungenfenster wurden die Lungendichte, der interbronchiale Winkel, die Tracheahöhe, die Tracheabreite sowie die Querschnittsfläche der Trachea bestimmt. Im Weiteren wurden die Lumenquerschnittsfläche und die Gesamtfläche des rechten und linken Stammbronchus ermittelt. Analog zum Hund (McNAMARA et al., 1992; WOOD et al., 1995) wurde die Wandfläche anschliessend durch Subtraktion der Lumenfläche von der Gesamtfläche errechnet. Als Index für die Rundung der Bronchien wurden der grösste luminale Durchmesser und der luminale Durchmesser senkrecht zu diesem bestimmt. Im rechten und linken Zwerchfelllappen wurden die Lumenfläche eines Lappenbronchus und die entsprechenden mitlaufenden Arterien- und Venenäste vermessen. Laut MATTOON et al. (2001) können Werte wie Herzbreite und -höhe zum Aufzeigen einer möglichen Herzvergrösserung herangezogen werden. Absolute Werte sind allerdings allein aufgrund der Grössenunterschiede der Tiere nicht aussagekräftig. Es empfiehlt sich, die gemessenen Werte mit Messwerten anderer anatomischer Strukturen ins Verhältnis zu setzen (MATTOON et al., 2001; OHLERTH et al., 2010). Eine geläufige Methode aus der Kleintiermedizin ist die Bestimmung der vertebra- len Herzgrösse auf der latero-lateralen Röntgenaufnahme. Dabei werden die Herz- höhe, gemessen von der Herzspitze bis ventral der Tracheabifurkation, und die

Herzbreite, gemessen am Übergang zwischen linkem Herzvorhof und Ventrikel, addiert. Die Summe wird an der Brustwirbelsäule des untersuchten Tiers mit einem Lineal angelegt und ab dem vierten Brustwirbel in Brustwirbelkörperlängen angegeben (BUCHANAN und BUCHELER, 1995; BUCHANAN, 2000). Weiter wurde bei Hunden überprüft, ob der Durchmesser der V. cava caudalis mit einer Rechtsherzinsuffizienz in Verbindung gebracht werden kann (LEHMKUHL et al., 1997). Auch hier wäre ein direkter Vergleich der absoluten Werte aufgrund der Grössenunterschiede zwischen den untersuchten Hunden nicht aussagekräftig gewesen. Aus diesem Grund wurde der radiologisch ermittelte Durchmesser der V. cava caudalis in das Verhältnis zum Durchmesser der Aorta, zur Länge des Brustwirbels oberhalb der Tracheabifurkation und zur Breite der rechten vierten Rippe gesetzt. Die Verhältnisse waren bei den erkrankten Hunden im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant grösser. Beim Menschen wird der interbronchiale Winkel als Hinweis auf eine Vergrösserung des linken Herzvorhofs diskutiert (HASKIN und GOODMAN, 1982; MURRAY et al., 2002; KARABULUT, 2005). Es wird angenommen, dass die Winkelvergrösserung durch einen vergrösserten linken Vorhof, welcher den linken Stammbronchus nach oben drückt, entsteht. Allerdings soll der interbronchiale Winkel stets stark variieren und nur einen geringen diagnostischen Wert aufweisen.

5. Material und Methodik

5.1. Untersuchte Tiere

Die Untersuchungen wurden zwischen dem 7. April 2010 und dem 27. Juli 2011 an sechs männlichen Holstein-Friesian-Kälbern (HF-Kälber) durchgeführt. Die Kälber waren bei der ersten Untersuchung bis zu zwei Tage alt (1.50 ± 0.55 Tage) und stammten aus drei verschiedenen Betrieben, welche sie für dieses Projekt an das Departement für Nutztiere der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich verkauft hatten. Sie waren klinisch gesund und wiesen ein Körpergewicht zwischen 33.5 und 55.0 kg auf (47.8 ± 8.01 kg).

5.2. Gesamtprojekt

Die Untersuchungen waren Teil eines Gesamtprojekts, das von mehreren Personen durchgeführt wurde und die folgenden Untersuchungen umfasste: Sonographische Untersuchung des Abdomens von Kälbern im Verlauf der ersten 100 Lebenstage (Sonka Krüger) und computertomographische Untersuchung von Kopf, Thorax und Abdomen von Kälbern im Verlauf der ersten 105 Lebenstage (Dissertationen und Postdoc-Projekte von Maximilian Abé, Charlotte Schnetzler, Mariano Makara und Maren Lesser). In weiteren Projekten wurden Untersuchungen über arterio-venöse Shunts an der Lunge (Simone Jenni) sowie echokardiographische Untersuchungen am Herzen (Colin Schwarzwald) durchgeführt.

5.3. Klinische Voruntersuchung

Die Kälber wurden nach der Einlieferung klinisch untersucht. Zudem wurden die folgenden weiteren Proben entnommen und untersucht:

- Harn: Makroskopische Beurteilung, Bestimmung des spezifischen Gewichts mit einem Handrefraktometer und Untersuchung mittels Harnteststreifen (Combur Test[®], Roche Pharma AG, Grenzach, Deutschland)
- Kot: Makroskopische Untersuchung und zusätzliche Untersuchung auf das Vorkommen von Rotaviren, Coronaviren, *E. coli* K 99 und Kryptosporidien mit Hil-

- fe von Schnelltests (FASTest[®] ROTA, FASTest[®] BCV, FASTest[®] E.coli-99 und FASTest[®] CRYPTO, Diagnostik MegaCor GmbH, Hörbranz)
- Pansensaft: Makroskopische Untersuchung, pH-Wert-Bestimmung und Messung des Chloridgehalts
 - Blut: Hämatologische und chemische Untersuchung
 - Haut (Biopsieentnahme am Hals): Untersuchung auf Pestivirus-Antigen.

Die Eintrittsuntersuchung sollte sicherstellen, dass die Tiere zu Versuchsbeginn gesund waren und genug Kolostrum aufgenommen hatten, was für die Studie unerlässlich war. Die genannten Untersuchungen wurden von den Doktorierenden Charlotte Schnetzler, Sonka Krüger und Maximilian Abé gemeinsam durchgeführt und in der Dissertation von SCHNETZLER (2012) ausführlich beschrieben.

5.4. Einstellprophylaxe, Haltung und Fütterung

Die Einstellprophylaxe sowie die Haltung und Fütterung der Kälber wurden in der Dissertation von SCHNETZLER (2012) beschrieben.

5.5. Computertomographische Untersuchung

Alle Kälber wurden mit einem Mehrschicht-CT (Somatom Sensation Open, Siemens, Erlangen, Deutschland), ausgestattet mit 20 Detektorreihen, untersucht. Durch eine alternierende Stellung des Strahlenfokus war eine simultane Aufzeichnung (Akquisition) von maximal 40 Körperschichten pro Rotation möglich. Jedes Kalb wurde in regelmässigen Zeitabständen von 21 Tagen, ausgehend vom Geburtstermin, insgesamt sechsmal computertomographisch untersucht. Die erste Untersuchung wurde innerhalb der ersten zwei Lebenstage (1.50 ± 0.55 Tage) durchgeführt.

5.5.1. Anästhesie für die computertomographische Untersuchung

Zur Vermeidung von Bewegungsunschärfe wurde die computertomographische Untersuchung in Allgemeinanästhesie durchgeführt. Die genaue Vorgehensweise bei der Anästhesie der Kälber erfolgte wie in der Dissertation von SCHNETZLER (2012) beschrieben.

5.5.2. Untersuchungsablauf

Die Kälber wurden auf dem CT-Tisch in einer Schaumstoffwanne sternal gelagert. Um eine möglichst gerade Ausrichtung zu erreichen, wurden die Tiere zusätzlich mit Klebeband fixiert. Die eigentliche CT-Untersuchung wurde mit einer Übersichtsaufnahme (Topogramm) der zu untersuchenden Regionen begonnen (Abb. 1). Für dieses Summationsbild wurde das gesamte Kalb mit fest positionierter Röntgenröhre und ebenso fixierten Detektorreihen einmal gescannt. Anschliessend wurden im Schichtvorgang der Kopf (für die Postdoc-Projekte Makara und Leser), der Thorax (für die Dissertation Abé) und das Abdomen (für die Dissertation Schnetzler) gescannt. Nach den Nativaufnahmen wurde eine Kontrastmittelstudie durchgeführt. Dazu wurde ein Kontrastmittel (Ultravist®-370, Bayer Schering Pharma, Zürich) in einer Dosierung von 2 ml/kg KG mit einem Druckinjektor intravenös verabreicht. Die Injektionsrate wurde der Scanzeit angepasst und wie folgt berechnet: $\text{Injektionsrate (ml/s)} = [\text{Gesamt volumen Kontrastmittel für ein Tier (ml)} / \text{Scanzeit (s)}] + 10 \text{ s}$. Die maximale Bolusmenge und die maximale Injektionsrate wurden auf 200 ml bzw. 6 ml/s festgelegt. In der Kontrastmittelstudie wurde zuerst eine Angiographie des Thorax durchgeführt. Um eine maximale Gefässfüllung zum Untersuchungszeitpunkt zu erreichen, wurde das Bolustracking angewandt. Dafür wurde der Anstieg der Dichte im pulmonalen Ausflusstrakt gemessen. Sobald die Dichte über 100 Hounsfield Einheiten (HU) anstieg, wurde die CT-Untersuchung automatisch gestartet. Die Untersuchung des Thorax erfolgte in maximaler Inspiration. Die Aufnahmen des Abdomens wurden mit 10 Sekunden

Verzögerung in Expiration und gehaltener Apnoe gefahren, um atmungsbedingte Bewegungsartefakte zu vermeiden.

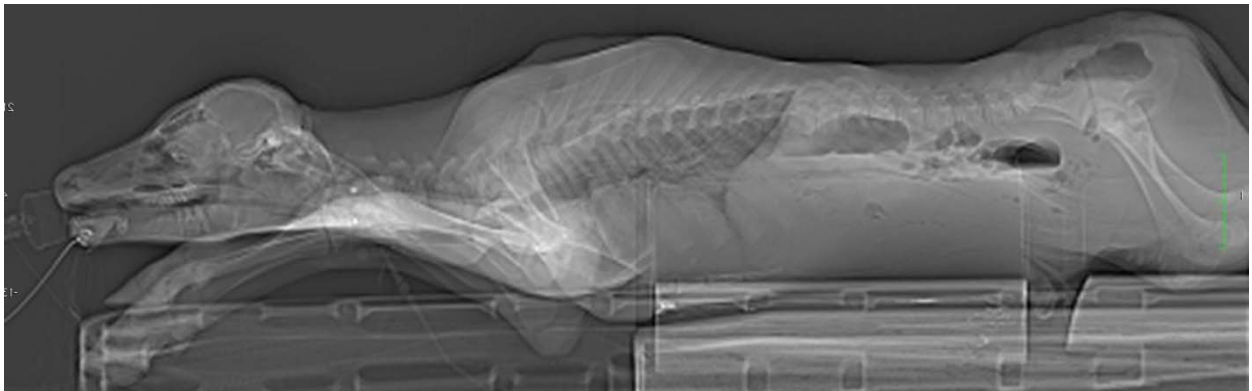


Abb. 1: CT-Übersichtsaufnahme (Topogramm) eines 1 Tag alten HF-Kalbes

5.5.3. CT-Einstellungen

Die CT-Untersuchung des Thorax erfolgte mit einer Exposition von 120 kV und 200 mA in Transversalschnitten von kranial nach kaudal. Die Schichtdicke betrug 3 mm mit einem Inkrement von 2.5 mm. Der Pitch wurde auf 1.2 festgelegt und der Bildausschnitt, dargestellt in einem Quadratfeld von 512 x 512 Pixeln, lag bei 40 x 40 cm. Im Anschluss wurden die Studien im Weichteil- (B31s), Knochen- (B70s) und Lungenalgorithmus (B60s) mit einer Schichtdicke von 1.5 mm rekonstruiert.

5.5.4. Bildbearbeitung und Auswertung

Im Anschluss an die CT-Untersuchungen wurden die Bilddaten jedes Kalbes auf einer externen Festplatte (Lacie 500 GB, Letec AG, Zürich) gespeichert. Die Erhebung der CT-Befunde und die Messungen wurden mit dem Programm OsiriX Open Source™ 5.0.2 Syngo CT 2012 (OsiriX Foundation, Genf) durchgeführt. Die knöchernen Strukturen wurden in der Bildserie mit Knochenalgorithmus (B70s) in einem definierten Knochenfenster (Breite [W] 3000 HU, Lage [L] 300 HU), die Weichteilstrukturen mit Weichteilalgorithmus (B31s) in einem definierten Weichteilfenster (W 400 HU, L 40 HU) und die Lunge mit Lungenalgorithmus

(B60s) in einem definierten Lungenfenster (W 1200 HU, L -600 HU) betrachtet und ausgewertet. Gelegentlich mussten die Einstellungen individuell angepasst werden, um den Kontrast der zu vermessenden Strukturen zu verbessern.

Knochenfenster (subjektive Beurteilung)

Im Knochenfenster konnten der letzte Abschnitt der Halswirbelsäule, die Brustwirbelsäule, die Rippen, das Sternum und die Schulterblätter mit den proximalen Anteilen beider Humeri beurteilt werden.

Weichteilfenster (subjektive Beurteilung)

Im Weichteilfenster wurden anhand der Kontrastmittelstudien das Herz, die thorakalen Gefäße und der Thymus hinsichtlich ihrer Lage, Form und Ausdehnung beurteilt. Im Weiteren wurden die Lymphknoten des Lc. thoracicum dorsale, des Lc. thoracicum ventrale, des Lc. mediastinale und des Lc. bronchale in Bezug auf ihre Abgrenzbarkeit zu den umliegenden Strukturen und ihre eindeutige Ansprache im CT-Bild des Kalbes überprüft.

Lungenfenster (subjektive Beurteilung)

Im Lungenfenster wurde auf das Vorkommen von pathologischen Veränderungen innerhalb des Lungenparenchyms und der Pleura zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten geachtet. Die Beurteilung erfolgte in Anlehnung an das aus der Humanmedizin stammende, für den Hund modifizierte Klassifizierungssystem (JOHNSON et al., 2004). Danach werden vier pathologische Grundmuster mit den entsprechenden Besonderheiten im CT der Lunge unterschieden:

1. Lineare und retikuläre Verdichtungen mit Grenzflächenzeichen, verdickten Inter- und Intralobulärsepten, peribronchovaskulären Verdickungen, Parenchymbändern, subpleuralen interstitiellen Verdickungen und subpleuralen Linien
2. Noduläre Verdichtungen mit Nodi, Noduli oder Massen

3. Erhöhte Lungendichte mit milchglasartigen Verschattungen, Verkalkungen, Atelektasen, Konsolidierungen und Sonderformen wie „Crazy paving“
4. Verminderte Lungendichte mit Honigwabenhunde, Lungenzysten, Emphysem, Bronchiektasen und Sonderformen wie Mosaikmuster.

Jedes Einzelkriterium wurde den entsprechenden Lungenlappen zugeordnet und das Ausmass der Veränderungen wurde subjektiv beurteilt (Tab. 2). Konnten keine Veränderungen gesehen werden, galt ein Lobus als unverändert. Als geringgradig wurden bis zu zehn Prozent Veränderungen im entsprechenden Lobus beurteilt. War der entsprechende Lobus bis zu einem Drittel verändert, wurde dies als leichtgradige Veränderung angesehen. Als mittelgradig wurde beurteilt, wenn bis zu zwei Drittel des entsprechenden Lobus verändert waren. Konnte in einem Lobus nahezu kein normales Gewebe mehr identifiziert werden, wurde dies als hochgradige Veränderung eingestuft. Im Weiteren wurden die Symmetrie und Ausdehnung des Lungenfelds beurteilt. Im Anschluss an die subjektive Auswertung wurde aufgrund der Lungenveränderungen eine Diagnose für die gesamte Lunge formuliert. Diese bezog sich auf die computertomographisch erfassbaren Veränderungen und war als rein deskriptiv ohne Beschreibung eines pathologischen Krankheitsbildes anzusehen.

Tab. 2: Subjektive Einteilung der Lungenlappenveränderung in Schweregrade

Schweregrade	Ausmass der Veränderung
Unverändert	Keine Veränderungen
Geringgradig verändert	Bis zu 10 % Veränderungen
Leichtgradig verändert	Bis zu 33 % Veränderungen
Mittelgradig verändert	Bis zu 66 % Veränderungen
Hochgradig verändert	Bis zu 100 % Veränderungen

5.5.5. Messungen im Thorax

Bei jeder Untersuchung wurden der Thorax und seine Organe im Anschluss an die subjektive Beurteilung vermessen.

Multiplanare Rekonstruktion

Um eine Vermessung der einzelnen Strukturen zu ermöglichen, musste vorher eine multiplanare Rekonstruktion durchgeführt werden. Diese erlaubte, die Strukturen zusätzlich zur bereits vorhandenen transversalen Ebene (Abb. 2 A) auch in einer dorsalen (Abb. 2 B) und in einer sagittalen Ebene (Abb. 2 C) darzustellen.

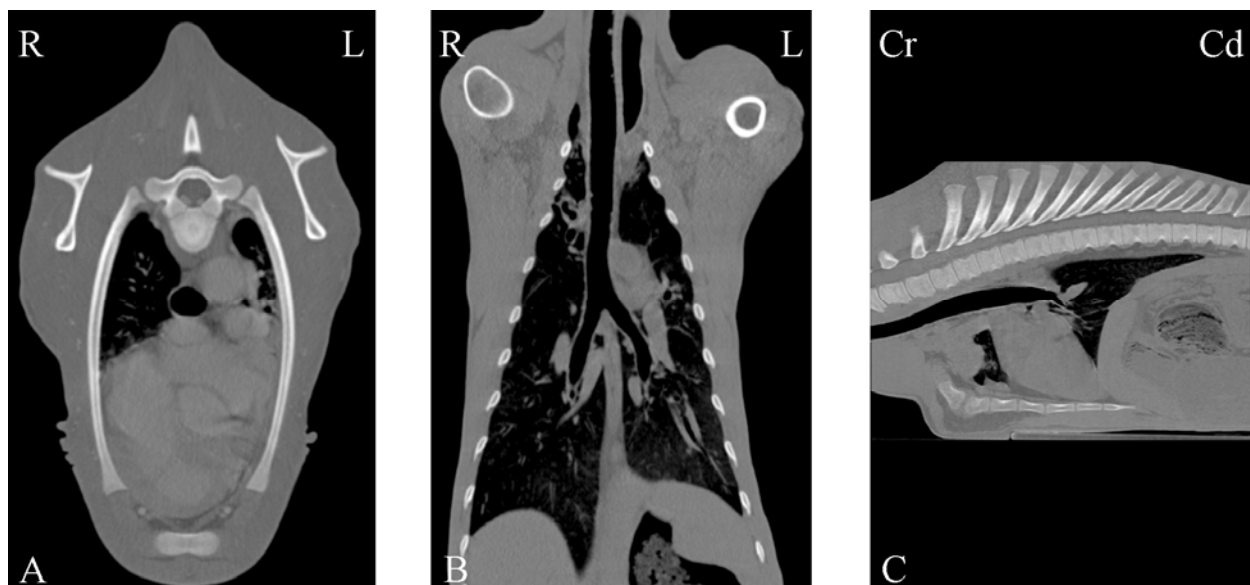


Abb. 2: Darstellung des Thorax eines 21 Tage alten HF-Kalbes im Knochenfenster in der transversalen (A), dorsalen (B) und sagittalen (C) Ebene. R Rechts, L Links, Cr Kranial, Cd Kaudal

Messungen im Knochenfenster

Zuerst wurde der Brusteingang in der transversalen Ebene vermessen. Dazu wurden die Thoraxhöhe zwischen der Crista ventralis des ersten Brustwirbels und dem Manubrium sterni im Verlauf des ersten Rippenpaares und die Thoraxbreite in ihrer maximalen Ausdehnung zwischen den Medialflächen des ersten Rippenpaares senkrecht zur Thoraxhöhe bestimmt (Abb. 3 A). Anschliessend wurde die Thorax-

höhe zwischen der Crista ventralis des vierten und achten Brustwirbels und dem Corpus sterni ermittelt. Die Thoraxbreite wurde auf Höhe des vierten und achten Brustwirbels in ihrer maximalen Ausdehnung zwischen der Pleura parietalis bzw. zwischen den Medialflächen der entsprechenden Rippen senkrecht zur Thoraxhöhe bestimmt (Abb. 3 B, 3 C). Die Länge desjenigen Brustwirbels, der über der Tracheabifurkation lag, wurde zwischen der kranialen und kaudalen Endplatte entlang der Crista ventralis gemessen.

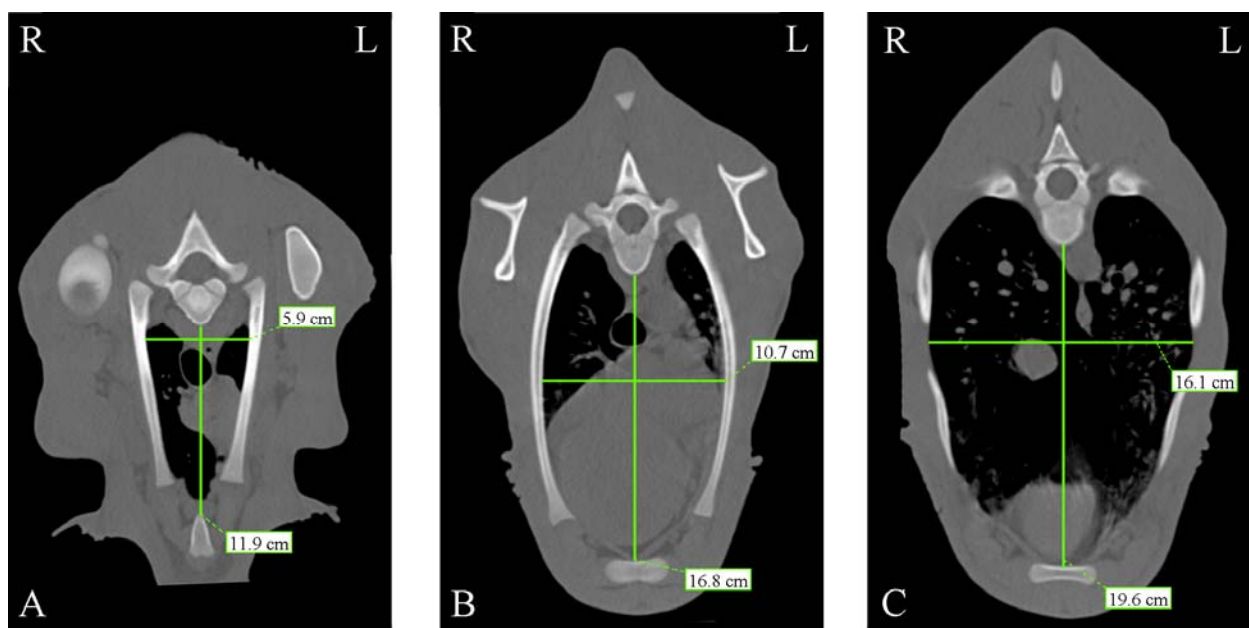


Abb. 3: Messung der Thoraxhöhe zwischen der Crista ventralis des ersten (A), vierten (B) und achten (C) Brustwirbels und dem Sternum sowie der Thoraxbreite auf Höhe des ersten (A), vierten (B) und achten (C) Brustwirbels zwischen den Medialflächen beider Rippen im Knochenfenster in der transversalen Ebene bei einem 42 Tage alten HF-Kalb. R Rechts, L Links

Messungen im Weichteilfenster

Die Messungen im Weichteilfenster wurden zur besseren Abgrenzung der grossen Gefässe und des Herzens teilweise in den Kontrastmittelstudien durchgeführt. Die Herzbreite wurde auf Höhe der Atrioventrikularklappen in derjenigen sagittalen Ebene, in welcher das Herz die grösste Ausdehnung aufwies, gemessen. Die

grösste Ausdehnung der Herzhöhe wurde auf einer Linie ventral der Tracheabifurkation bis zur Herzspitze gemessen (Abb. 4 A). Die Herzbreite und -höhe wurden anschliessend für die Bestimmung der vertebralen Herzgrösse (VHS), angegeben in Brustwirbelkörperlängen, verwendet (Abb. 4 B).

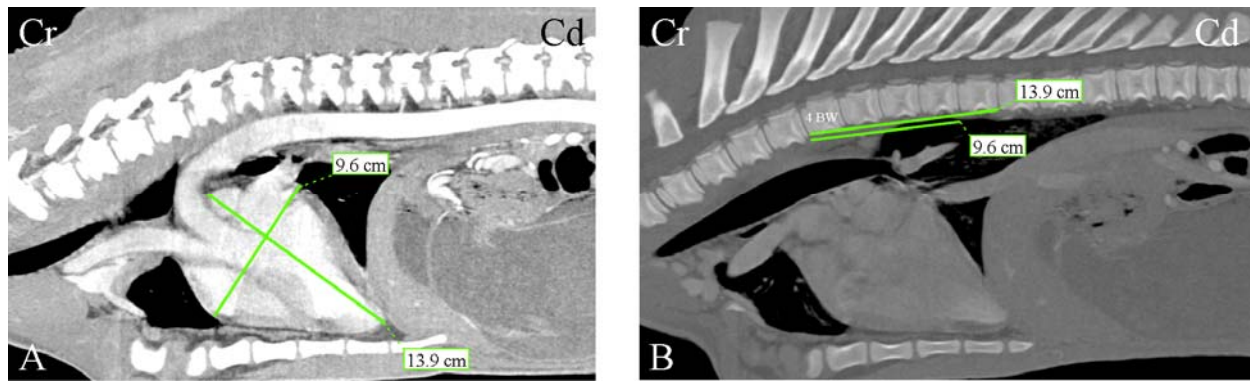


Abb. 4: Bestimmung der Herzhöhe und der Herzbreite in der maximalen Ausdehnung in einer sagittalen Ebene 1 cm links der Medianen (A), gemessen im Weichteilfenster nach intravenöser Kontrastmittelgabe, und der vertebralen Herzgrösse in der Medianebene (B), gemessen im Knochenfenster. Bei diesem 21 Tage alten HF-Kalb beträgt die vertebrale Herzgrösse 9 Brustwirbelkörperlängen. Cr Kranial, Cd Kaudal

Die maximalen Durchmesser der Aorta thoracica, V. cava cranialis und V. cava caudalis wurden in der Sagittalebene senkrecht zur Längsachse bestimmt (Abb. 5 A, B, C).

Messungen im Lungenfenster

Zuerst wurde in der transversalen Ebene derjenige Brustwirbel ermittelt, auf dessen Höhe die Tracheabifurkation lag. Die Höhe und Breite der Trachea wurden am Brusteingang auf Höhe des ersten Brustwirbels senkrecht und waagrecht zum Verlauf der Trachea gemessen (Abb. 6 A). Die Querschnittsfläche der Trachea wurde am Brusteingang (Abb. 6 B) und unmittelbar vor der Tracheabifurkation bestimmt. Unmittelbar im Anschluss an die Tracheabifurkation wurden am rechten

und linken Stammbronchus die Querschnittfläche des Lumens und die Gesamtfläche, die durch die äussere Wand begrenzt wurde, bestimmt (Abb. 6 C). Die Wandfläche wurde anschliessend durch Subtraktion der Lumenfläche von der Gesamtfläche errechnet. Darüber hinaus wurden an den beiden Stammbronchien der grösste Durchmesser und der Durchmesser senkrecht zu diesem bestimmt. Das Verhältnis der beiden Durchmesser zueinander lieferte einen Anhaltspunkt über die Rundung der Bronchien.

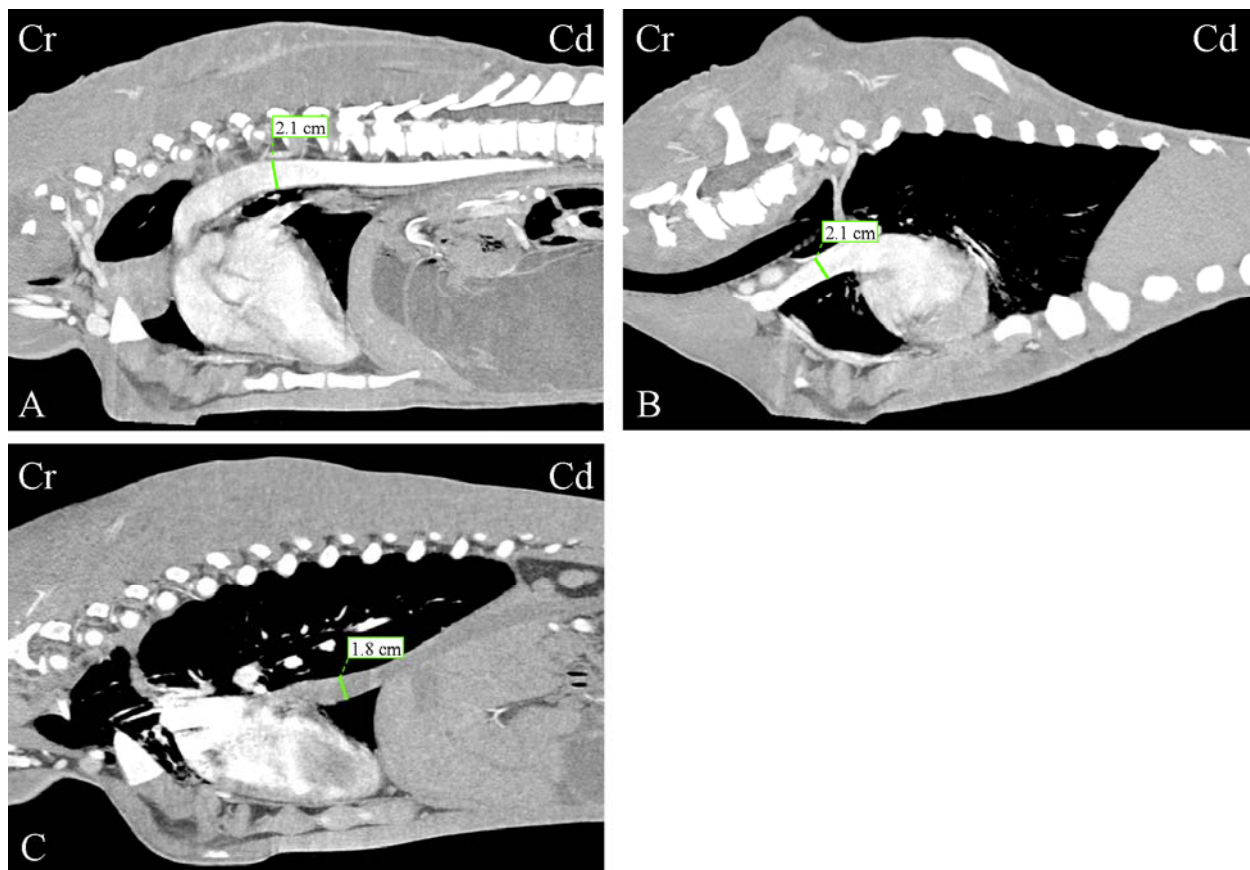


Abb. 5: Messung des grössten Durchmessers der Aorta thoracica (A), der V. cava cranialis (B) und der V. cava caudalis (C) in der sagittalen Ebene im Weichteilfenster nach intravenöser Kontrastmittelgabe bei einem 42 Tage alten HF-Kalb. Cr Kranial, Cd Kaudal

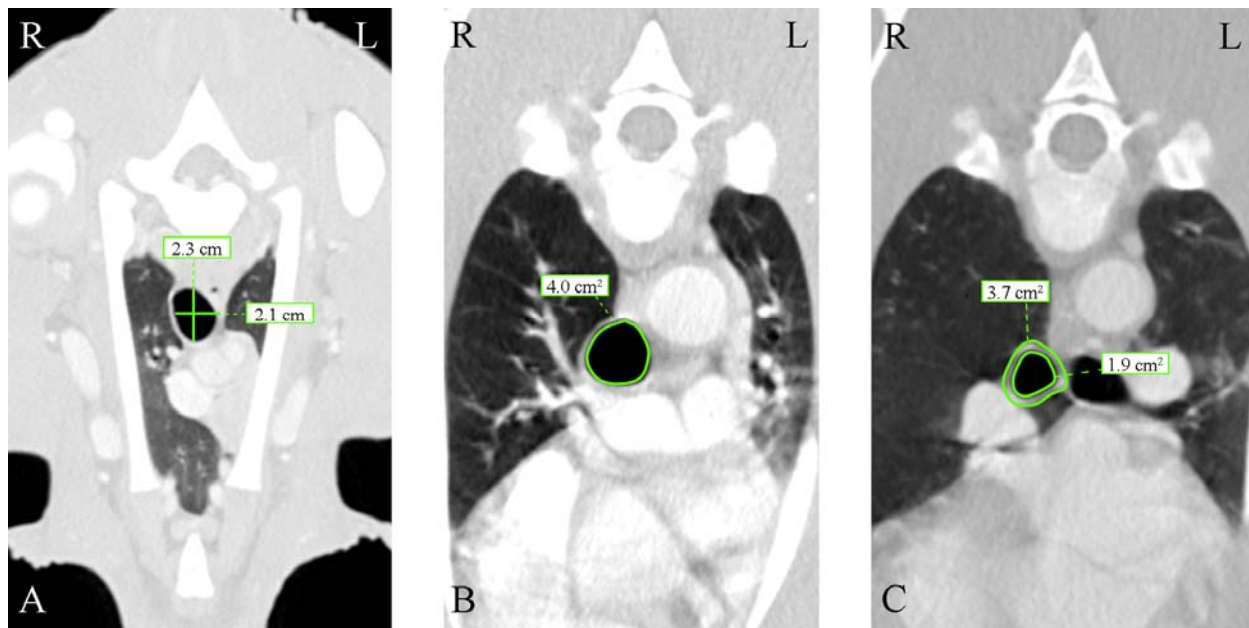


Abb. 6: Messungen der Tracheahöhe und Tracheabreite (A), der Tracheaquerschnittfläche (B) kurz vor der Bifurkation und der Stammbronchienflächen (C) unmittelbar nach der Bifurkation im Lungenfenster in der transversalen Ebene bei einem 63 Tage alten HF-Kalb. R Rechts, L Links

Die Lungendichte wurde auf der Höhe der Stammbronchien in einem definierten Gebiet von 2 cm^2 in der Peripherie des rechten und linken Lungenlappen gemessen und in HU angegeben (Abb. 7 A). Alle Dichtemessungen wurden an den Nativstudien durchgeführt. Die Lumenfläche eines Lappenbronchus wurde sowohl im rechten als auch im linken Zwerchfelllappen, dort wo am besten abgrenzbar, auf Höhe des 7. bis 8. Brustwirbels gemessen. Unmittelbar lateral und medial des Lappenbronchus wurde die Querschnittfläche des mitlaufenden Arterien- und Venenastes bestimmt (Abb. 7 B). Für die genaue Identifizierung der Gefäße wurden diese Messungen an den Kontrastmittelstudien durchgeführt. Der interbronchiale Winkel zwischen der Zentralachse des linken und rechten Stammbronchus wurde in der dorsalen Ebene ermittelt (Abb. 7 C).

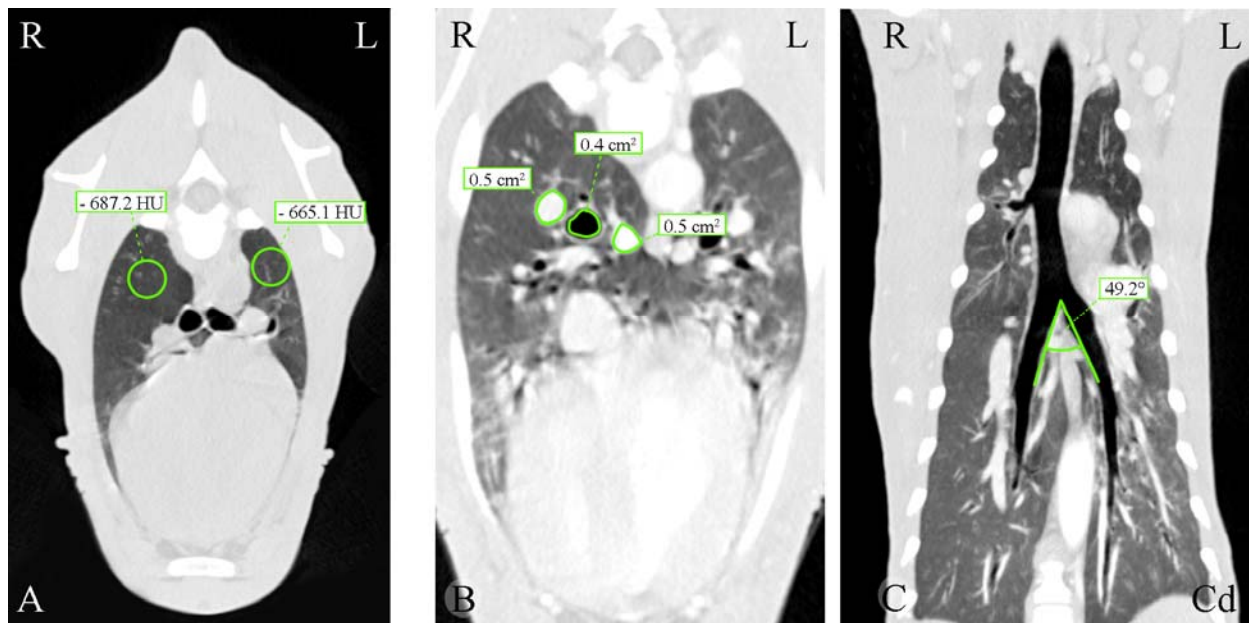


Abb. 7: Bestimmung der Lungendichte auf Höhe der Stammbronchien (Bifurkation) im Lungenfenster in der transversalen Ebene (A), der Bronchuslumenfläche und der Querschnittfläche des begleitenden Arterien- und Venenastes, hier im rechten Zwerchfelllappen auf der Höhe des 8. Brustwirbels (B) nach intravenöser Kontrastmittelgabe, und des interbronchialen Winkels in der dorsalen Ebene (C) bei einem 63 Tage alten HF-Kalb. R Rechts, L Links, Cd Kaudal

5.6. Euthanasie

Alle Kälber wurden im Anschluss an die 6. CT-Untersuchung im Alter von 105 Lebenstagen noch während der Narkose euthanasiert (T 61 ad us. vet.[®], 0.08-0.12ml/kg KG, Veterinaria AG, Pfäffikon). Vier der sechs Kälber dienten der anatomischen Schnittpräparation und zwei wurden im Institut für Veterinärpathologie seziert.

5.7. Vergleich von CT-Bild und anatomischem Präparat

Für die genaue Identifikation der anatomischen Strukturen auf den CT-Querschnittbildern wurden anatomische Schnittbilder der Kälber in der transversalen, sagittalen und dorsalen Ebene angefertigt. Die CT-Bilder wurden den Gefrierschnittbildern gegenübergestellt.

5.7.1. Vorbereitung der euthanasierten Kälber für die anatomische Untersuchung

Die euthanasierten Kälber wurden auf einen Tisch gelegt und analog zur Position auf dem CT-Tisch in Sternallage mit Schaumstoffkeilen und Klebeband fixiert. Danach wurden sie im Gefrierraum bei -18 °C über einen Zeitraum von mindestens vierzehn Tagen tiefgefroren.

5.7.2. Herstellung der anatomischen Schnitte

Für den Vergleich von digitalem CT-Bild und anatomischem Schnittbild wurden zwei der gefrorenen Kälber mit einer Fleischbandsäge (Typ K 440 H, Paul Kolbe GmbH, Elchingen) transversal in 1.0 bis 1.5 cm dicke Scheiben gesägt. Je ein weiteres Kalb wurde in der sagittalen bzw. in der dorsalen Ebene in 3 cm dicke Scheiben gesägt. Jeder der 20 bis 70 Schnitte pro Kalb wurde nacheinander auf eine blaue Hintergrundfolie gelegt, nummeriert und mit einer digitalen Spiegelreflexkamera (Canon EOS 5D, Tokio) fotografiert. Die Transversalschnitte wurden immer von kaudal, die Sagittalschnitte von links und die Dorsalschnitte von dorsal abgelichtet. Jedes Schnittpräparat wurde zusätzlich mit einem Lineal zum Größenvergleich versehen.

5.7.3. Vergleich der CT-Bilder mit den anatomischen Schnitten

Sowohl die Bearbeitung und Beschriftung der anatomischen Strukturen als auch die direkte Gegenüberstellung von CT- und anatomischem Schnittbild erfolgten im Programm Adobe Photoshop CS 5 (Adobe System GmbH, München). Die anatomischen Schnittbilder dienten dazu, die analogen Strukturen im CT-Bild eindeutig zu identifizieren. Die Beschriftung der anatomischen Strukturen erfolgte anhand der Nomina Anatomica Veterinaria (HABEL et al., 1983). In den Abbildungen wurden links jeweils das Weichteilfenster und rechts das Knochenfenster aus der CT-Thoraxstudie desselben Kalbes dargestellt. Für die knöchernen Strukturen wurden Grossbuchstaben, für die Muskeln Kleinbuchstaben und für die Organe,

Gefäße und Lymphknoten Zahlen verwendet, die für die gegebenen Strukturen in den verschiedenen Schnittbildern stets gleich blieben.

5.8. Statistik

Alle Daten wurden zunächst in eine Exceltabelle (Microsoft Office 2008 für Mac) übertragen. Die statistische Berechnung der Mittelwerte, Standardabweichungen, Medianwerte und Schwankungsbreiten erfolgte mit dem Programm SPSS Statistics (Version 19, IBM Corporation, Armonk, New York). Die Daten (kontinuierliche Variablen) wurden mittels Wilk-Shapiro-Test auf Normalverteilung überprüft. Die weiterführenden statistischen Analysen wurden mit dem Programm STATA (STATA[®]12, StataCorp LP, Collage Station, Texas) durchgeführt. Dabei wurden die Messungen der verschiedenen Untersuchungszeitpunkte mit denjenigen der Erstuntersuchung verglichen. Normalverteilte Werte wurden mittels gepaartem zweiseitigem t-Test und nicht normalverteilte mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test auf signifikante Unterschiede getestet. Im Weiteren wurden für jeden Untersuchungszeitpunkt die Messungen der linken mit denjenigen der rechten Lungenhälfte miteinander verglichen. Zeitverläufe wurden mittels Varianzanalyse mit wiederholten Messungen oder mittels generalisiertem linearem Modell berechnet. Die Signifikanzschwelle wurde bei $P \leq 0.05$ gesetzt.

5.9. Zusammenarbeit mit anderen Instituten und Abteilungen

Am Zustandekommen der vorliegenden Arbeit waren neben der Klinik für Wiederkäuer (Prof. Dr. Dr. h. c. U. Braun), der Abteilung für Bildgebende Diagnostik (Prof. Dr. P. Kircher) und der Abteilung für Anästhesie (Prof. Dr. R. Bettschart) die folgenden Institutionen der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich beteiligt:

- Veterinärmedizinisches Labor (Prof. Dr. H. Lutz): Hämatologische und blutchemische Untersuchungen
- Veterinär-Anatomisches Institut (Prof. Dr. A. Boos): Anatomische Schnittpräparation

- Abteilung VetCom (Prof. Dr. H. Nägeli): Digitale Fotografie der anatomischen Schnittpräparate und Bildbearbeitung
- Abteilung für Ambulanz und Bestandesmedizin (Prof. Dr. M. Hässig): Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten.

5.10. Tierversuchsbewilligung

Für die Untersuchungen lag eine Tierversuchsbewilligung (18/2010) des Kantonalen Veterinäramts Zürich vor.

6. Ergebnisse

6.1. Voruntersuchungen

Die Befunde der klinischen Untersuchung, der Blut-, Harn-, Pansensaft- und Kotuntersuchung wurden in der Dissertation von KRÜGER (2012) beschrieben. Sie werden deshalb an dieser Stelle nicht erneut dargestellt.

6.2. Gesundheitszustand der Kälber im Verlauf der 105 Tage

Vier der sechs Kälber (Nummer 2, 4, 5, 7) erkrankten im Verlauf des Versuchs an einer leicht- bis mittelgradigen Bronchopneumonie mit Husten und mukopurulentem Nasenausfluss. Der Allgemeinzustand war leicht- bis mittelgradig gestört, die Temperatur zum Teil leicht erhöht. Die Sauglust war immer ungestört. Die Tiere wurden im akuten Fall über fünf Tage mit Danofloxacin (1.25 mg/kg KGW, Advocid[®] 2.5 % ad us. vet., Pfizer AG, Zürich), Bromhexinhydrochlorid (30-45 mg/Kalb, Bisolvon[®] ad us. vet., Boehringer Ingelheim GmbH, Basel) und Clenbuterol (0.8 µg/kg KGW, Ventipulmin[®], Boehringer Ingelheim GmbH) behandelt. Zusätzlich bekamen die Kälber über drei Tage Flunixin (1.1 mg/kg KGW, Flunixin ad us. vet., Dr. E. Graeub AG, Bern). Bei einem Kalb (Nr. 7) besserten sich die Befunde trotz intensiver Behandlung nicht. Es wurde aus diesem Grund über fünf Tage mit Cefquinom (1 mg/kg KGW, Cobactan[®] 2.5 %, Veterinaria AG, Pfäffikon) behandelt und wegen eines Fieberschubs auf Florfenicol (20 mg/kg KGW alle 48 Stunden, Nuflor[®], Veterinaria AG) umgestellt. Das Kalb zeigte daraufhin eine klinische Besserung, bei der nächsten Allgemeinanästhesie verschlechterte sich der Zustand jedoch massiv. Das Kalb zeigte unmittelbar nach der Narkose hochgradige Dyspnoe. Aus diesem Grund wurde dem Tier einmalig Tripelenamin (50 mg/100kg KGW, Vetibenzamin[®], Novartis AG, Basel) und Tulathromycin (2.5 mg/kg KGW, Draxxin[®] 10 % ad us. vet., Pfizer AG) verabreicht, worauf sich der Zustand stabilisierte. Die Kälber 2, 4, 5 und 7 erholten sich nicht vollständig von der Bronchopneumonie. Das Kalb 4 erkrankte am Tag 31 zusätzlich an einer eitrigen Omphaloarteritis mit Abszessbildung. Das Kalb wurde, obwohl

es keine Allgemeinstörungen und nie Fieber zeigte, über 10 Tage mit Amoxicillin (7 mg/kg Körpergewicht, Clamoxyl[®], Pfizer AG) intramuskulär und über drei Tage mit Flunixin (1.1 mg/kg KGW, Flunixin[®]) behandelt. Trotz intensiver Behandlung konnte sonographisch keine Verbesserung gesehen werden. Am 63. Lebenstag war der Allgemeinzustand reduziert. Das Kalb wurde am 64. Lebenstag in Allgemeinanästhesie operiert. Intraoperativ wurde eine grossflächige Verklebung des Netzes mit dem oben erwähnten Abszess festgestellt. Der Abszess mündete in die linke Nabelarterie. Das Tier wurde mit Amoxicillin (7.0 mg/kg Körpergewicht, Clamoxyl[®]) und Flunixin (1.1 mg/kg Körpergewicht, Flunixin[®]) nachbehandelt. Nach der Operation kam es zu einer raschen Erholung. Sämtliche Behandlungen der Kälber sind im Anhang 1 aufgelistet.

6.3. Pathologisch-anatomische Befunde

Bei einem der beiden seziierten Kälber (2) wurden bei der Sektion eine mittelgradige, diffuse, akute, eitrige Bronchopneumonie, ein mittelgradiges, diffuses, akutes Labmagenödem, ein mittelgradiger Aszites mit modifiziertem Transsudat und als Nebenfund multifokale Hämozysten an der Trikuspidalklappe gefunden. Das andere Kalb (3) wies eine ausgeprägte Hyperämie der Lunge auf, welche vermutlich bei der terminalen CT-Untersuchung unabhängig von den hier durchgeführten Untersuchungen entstanden war.

6.4. Computertomographische Befunde

6.4.1. Knochenfenster

Die Brustwirbelsäule mit Quer- und Dornfortsätzen, die Rippen, das Sternum und die beiden Schulterblätter mit den proximalen Anteilen des Humerus wiesen im Knochenfenster keine Veränderungen oder Abweichungen von den normalen anatomischen Verhältnissen auf. Eine beginnende Verknöcherung der Fugenknorpel zwischen den einzelnen Sternebrae war bei keinem Kalb zu keinem Untersuchungszeitpunkt erkennbar (Abb. 8 A bis D).

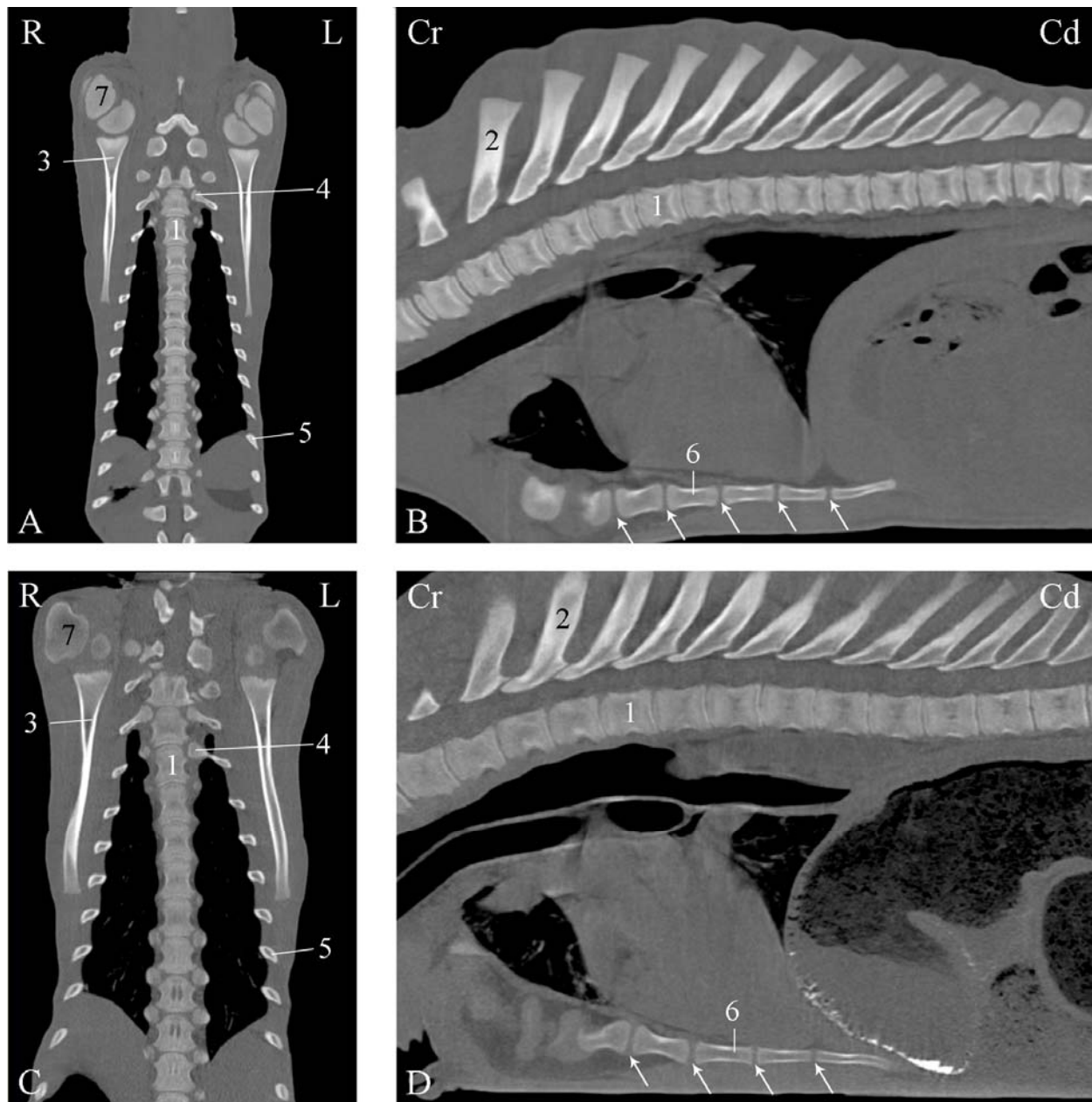


Abb. 8: Darstellung des Thorax im Knochenfenster eines 1 Tage alten (A, B) und eines 105 Tage alten HF-Kalbes (C, D) in der Dorsalebene auf Höhe der Brustwirbelsäule (A, C) und in der Medianen (B, D). R Rechts, L Links, Cr Kranial, Cd Kaudal, 1 Corpus vertebrae, 2 Processus spinosus, 3 Scapula, 4 Caput costae, 5 Costa, 6 Sternum, 7 Humerus, Pfeile = Synchondroses sternales

Messungen

Die Thoraxhöhe der 6 Kälber, gemessen am Brusteingang und auf Höhe des 4. sowie des 8. Brustwirbels, nahm bei der ersten CT-Untersuchung unmittelbar nach

der Geburt von kranial nach kaudal von durchschnittlich 11.5 ± 0.78 cm auf 16.0 ± 1.33 cm zu (Tab. 3). Bei der letzten Untersuchung erreichte die Thoraxhöhe durchschnittliche Werte von 15.8 ± 1.60 cm am Brusteingang und 23.4 ± 0.32 cm auf Höhe des 8. Brustwirbels. Die Thoraxbreite am Brusteingang und auf Höhe des 4. und 8. Brustwirbels betrugen nach der Geburt durchschnittlich 6.0 ± 0.44 cm am Brusteingang sowie 12.9 ± 1.02 cm auf Höhe des 8. Brustwirbels (Tab. 4). Um den 105. Lebenstag betrug die durchschnittliche Thoraxbreite 7.4 ± 1.04 cm am Brusteingang und 29.7 ± 5.21 cm auf Höhe des 8. Brustwirbels. Die Länge des entsprechenden Brustwirbels auf Höhe der Tracheabifurkation betrug durchschnittlich 2.5 ± 0.17 cm (2.3 bis 2.7 cm) bei der ersten Untersuchung und 3.4 ± 0.31 cm (3.2 bis 3.9 cm) bei der letzten Untersuchung. Die Zunahme der Thoraxausdehnung sowie das Längenwachstum des über der Tracheabifurkation liegenden Brustwirbels war zwischen der ersten und dritten Untersuchung signifikant ($P < 0.01$).

6.4.2. Weichteilfenster

Die CT-Untersuchung im Weichteilfenster ergab in Bezug auf die morphologische Grundstruktur der intrathorakalen Organe sowie den Verlauf der Gefässe keine Abweichungen zu den beschriebenen anatomischen Befunden beim adulten Rind (SCHUMMER und HABERMEHL, 1996; WAIBL und WILKENS, 1996 a, b). Die einzelnen Organe variierten über den genannten Untersuchungszeitraum lediglich in der Grösse und teilweise geringgradig in der Lage.

Topographie

In den ersten Lebenstagen konnte das Herz in der transversalen Ebene bei allen Kälbern zwischen dem 3. und 8. Brustwirbel dargestellt werden. Zu diesem Zeitpunkt erschien es in der sagittalen Ansicht, stark nach kranioventral gekippt, beinahe flach auf dem Sternum liegend (Abb. 9 A). Zum Zeitpunkt der letzten Untersuchung am 105. Lebenstag konnte das Herz bei allen Kälbern zwischen dem 2.

Tab. 3: Thoraxhöhe in cm bei 6 HF-Kälbern auf Höhe des 1., 4. und 8. Brustwirbels von der ersten bis zur sechsten Untersuchung ($\bar{x} \pm s$, Schwankungsbreite in Klammern)

Brustwirbel	CT-Untersuchung					
	1	2	3	4	5	6
1	11.5 \pm 0.78 (10.5 – 12.6)	12.2 \pm 0.47 (11.5 – 12.8)	13.2 \pm 0.87** (11.9 – 13.9)	13.9 \pm 1.00 (12.5 – 15.5)	14.5 \pm 1.20 (12.5 – 15.8)	15.8 \pm 1.60 (13.4 – 18.4)
4	14.8 \pm 1.53 (12.7 – 16.9)	16.85 \pm 0.89* (15.3 – 17.8)	19.1 \pm 1.36** (16.8 – 20.4)	19.5 \pm 0.79 (19.1 – 21.3)	20.7 \pm 1.33 (18.3 – 21.9)	21.7 \pm 1.07 (19.9 – 22.7)
8	16.0 \pm 1.33 (14.1 – 17.5)	18.2 \pm 1.06** (17.2 – 19.7)	20.5 \pm 0.61 (19.6 – 21.1)	21.2 \pm 0.89 (20.2 – 22.0)	23.1 \pm 0.66 (22.7 – 23.6)	23.4 \pm 0.32 (23.2 – 23.7)

* Erster signifikanter Unterschied zur ersten Untersuchung, $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

Tab. 4: Thoraxbreite in cm bei 6 HF-Kälbern auf Höhe des 1., 4. und 8. Brustwirbels von der ersten bis zur sechsten Untersuchung ($\bar{x} \pm s$, Schwankungsbreite in Klammern)

Brustwirbel	CT-Untersuchung					
	1	2	3	4	5	6
1	6.0 \pm 0.44 (5.3 – 0.44)	6.1 \pm 0.43 (5.2 – 6.4)	6.7 \pm 0.43** (5.9 – 7.0)	7.1 \pm 0.47 (6.3 – 7.5)	7.3 \pm 0.53 (6.4 – 7.8)	7.4 \pm 1.04 (6.2 – 9.4)
4	9.9 \pm 0.65 (9.2 – 10.7)	11.1 \pm 0.38** (10.5 – 11.6)	12.9 \pm 2.06 (10.7 – 16.3)	13.6 \pm 1.28 (12.0 – 15.0)	15.6 \pm 2.84 (12.3 – 18.9)	18.4 \pm 3.80 (13.8 – 22.2)
8	12.9 \pm 1.02 (11.3 – 14.2)	15.0 \pm 0.77** (14.1 – 15.9)	17.9 \pm 1.41 (16.1 – 19.8)	20.8 \pm 2.65 (18.3 – 25.3)	27.2 \pm 6.21 (19.6 – 36.9)	29.7 \pm 5.21 (24.6 – 35.9)

* Erster signifikanter Unterschied zur ersten Untersuchung, $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

und 7. Brustwirbel lokalisiert werden, und es war durchschnittlich nur noch um 30 bis 50° nach kranioventral gekippt (Abb. 9 B). Die spitzkegelige Form des Herzens unmittelbar nach der Geburt wurde abhängig vom Funktionszustand im Verlauf der Untersuchungen immer gedrungener.

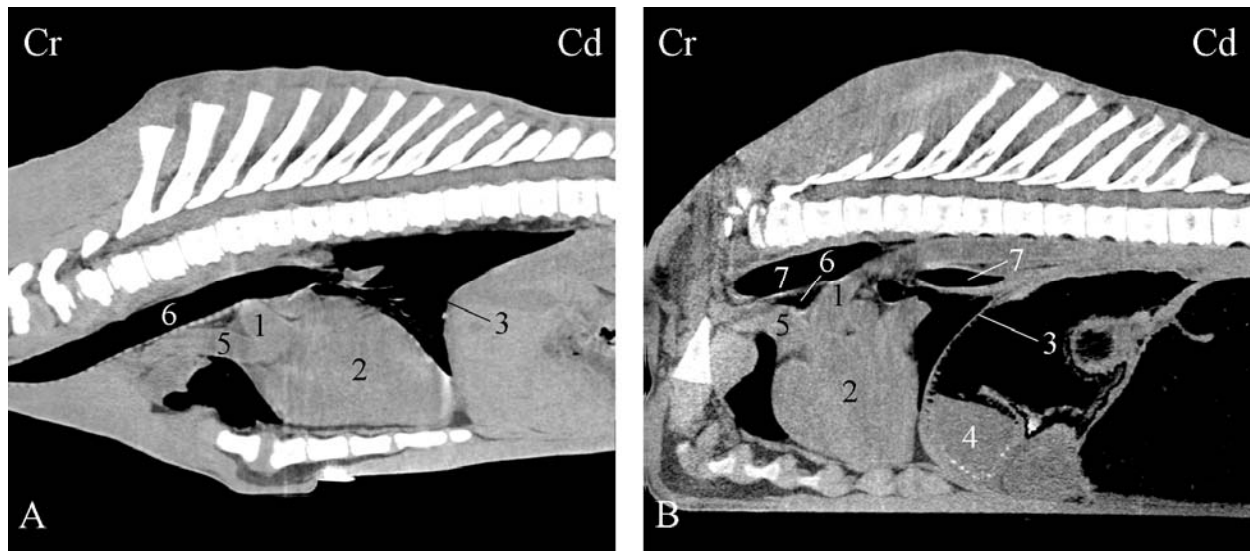


Abb. 9: Lage und Form des Herzens im Sagittalschnitt 0.5 cm links der Medianen bei einem 1 Tage alten (A) und einem 105 Tage alten HF-Kalb (B) im Weichteilfenster. Cr Kranial, Cd Kaudal, 1 Aorta, 2 Herz, 3 Zwerchfell, 4 Haube, 5 Truncus brachiocephalicus, 6 Trachea, 7 Oesophagus

Durch die Anwendung von Kontrastmittel und mit Hilfe der multiplanaren Rekonstruktion (Abb. 10 A bis C) war eine genaue Abgrenzung zwischen dem rechten (7) und dem linken (8) Herzventrikel möglich. In der transversalen Ebene konnten die grossen Gefässstämme oberhalb bzw. im Bereich der Herzbasis im Querschnitt deutlich erkannt werden (Abb. 10 A). Dorsal der Herzbasis nahmen die Trachea (1) und der Oesophagus ihren Verlauf. Unmittelbar der Brustwirbelsäule ventral anliegend konnte der M. longus colli (a) identifiziert werden. Ventral wurde das Herz durch den M. transversus thoracis (b) und das Sternum begrenzt. Die Herzmündungen der V. cava cranialis (5) und der V. cava caudalis (6) sowie der Herzaustritt der Aorta (3) und des Truncus brachiocephalicus (4) konnten am bes-

ten im Sagittalschnitt identifiziert werden (Abb. 10 B). Die kaudale Grenze des Herzens bildete das Zwerchfell, wobei die Kontaktfläche im Verlauf der Untersuchungen zwischen Herz und Zwerchfell zunahm. In der dorsalen Ebene waren die Mündungen der V. cava cranialis und der V. cava caudalis in den rechten Herzvorhof deutlich zu erkennen (Abb. 10 C).

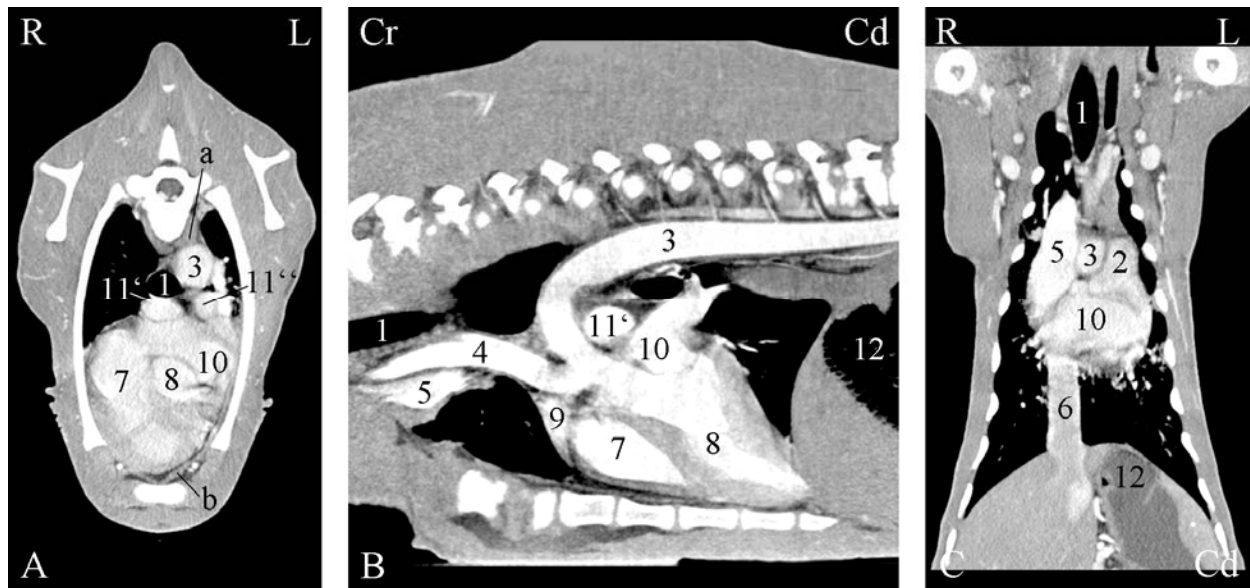


Abb. 10: CT-Befunde am Herz und an den Gefäßen bei einem 43 Tage alten HF-Kalb im Weichteilfenster nach intravenöser Kontrastmittelgabe. Transversale Ebene (A) auf der Höhe des 4. Brustwirbels, sagittale Ebene 1 cm links der Medianen (B) und dorsale Ebene auf der Höhe der Herzbasis (C). R Rechts, L Links, Cr Kranial, Cd Kaudal, 1 Trachea, 2 Truncus pulmonalis, 3 Aorta thoracica, 4 Truncus brachiocephalicus, 5 V. cava cranialis, 6 V. cava caudalis, 7 Ventriculus cordis dexter, 8 Ventriculus cordis sinister, 9 Atrium cordis dextrum, 10 Atrium cordis sinistrum, 11' A. pulmonalis dexter, 11'' A. pulmonalis sinister, 12 Haube, a M. longus colli, b M. transversus thoracis

Messungen am Herzen

Die Ausdehnung des Herzens nahm im gesamten Untersuchungsverlauf stetig zu (Tab. 5). Bei der ersten Untersuchung unmittelbar nach der Geburt mass die Herzbreite zwischen 9.1 und 11.2 cm (9.7 ± 0.83 cm). Am letzten Untersuchungstag

Tab. 5: Herzbreite, Herzhöhe und vertebrale Herzgrösse (VHS) bei 6 HF-Kälbern von der ersten bis zur sechsten Untersuchung ($\bar{x} \pm s$, Schwankungsbreite in Klammern)

Parameter	CT-Untersuchung					
	1	2	3	4	5	6
Herzbreite (cm)	9.7 \pm 0.83 (9.1 – 11.2)	10.9 \pm 0.74* (9.6 – 11.8)	11.8 \pm 0.37** (11.3 – 12.3)	12.2 \pm 0.62 (11.2 – 12.9)	12.0 \pm 1.21 (10.0 – 13.6)	12.6 \pm 0.44 (12.2 – 13.4)
Herzhöhe (cm)	14.4 \pm 0.91 (13.6 – 16.1)	15.1 \pm 0.67 (13.9 – 16.0)	15.3 \pm 0.59 (14.2 – 15.9)	16.7 \pm 1.65** (13.9 – 18.9)	15.9 \pm 1.16 (14.4 – 17.3)	17.2 \pm 0.58 (16.1 – 17.7)
Vertebrale Herzgrösse (VHS)	9.3 \pm 0.30 (9.0 – 10.0)	9.3 \pm 0.24 (9.0 – 9.5)	9.1 \pm 0.21 (9.0 – 9.5)	8.8 \pm 0.22* (8.5 – 9.0)	7.9 \pm 0.49** (7.5 – 9.0)	8.2 \pm 0.27 (8.0 – 9.0)

* Erster signifikanter Unterschied zur ersten Untersuchung, $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

mit 105 Lebenstagen lag sie zwischen 12.2 und 13.4 cm (12.6 ± 0.44 cm). Die Herzhöhe, welche annähernd senkrecht zur Herzbreite gemessen wurde, mass nach der Geburt zwischen 13.6 und 16.1 cm (14.4 ± 0.91 cm) und um den 105. Lebenstag zwischen 16.1 und 17.7 cm (17.2 ± 0.68 cm). Die Grössenzunahme des Herzens war in Bezug auf die Herzbreite bereits zwischen der ersten und zweiten Untersuchung ($P < 0.05$) und in Bezug auf die Herzhöhe zwischen der ersten und vierten Untersuchung ($P < 0.01$) signifikant. Die vertebrale Herzgrösse (VHS) lag bis zum Alter von 63 Tagen durchschnittlich bei 9.1 (± 0.21) Brustwirbelkörperlängen und fiel dann bis zur letzten Untersuchung auf einen durchschnittlichen Wert von 8.2 (± 0.27) Brustwirbelkörperlängen ab (Differenz $P < 0.05$).

Verlauf der grossen Gefässe

Die grossen Gefässstämme (Aorta, Truncus brachiocephalicus, V. cava cranialis, V. cava caudalis) konnten in allen drei Ebenen deutlich erkannt und durch das Kontrastmittel in ihrem Verlauf verfolgt werden. Der Verlauf der Aorta und des Truncus brachiocephalicus konnte am besten leicht linkssagittal (Abb. 11 A), derjenige der V. cava cranialis in der Medianen bis rechtssagittal (Abb. 11 B) und derjenige der V. cava caudalis rechtssagittal dargestellt werden (Abb. 11 C). Die Aorta entliess unmittelbar nach ihrem Ursprung aus dem linken Ventrikel den Truncus brachiocephalicus. Dieser entsprang zu jedem Untersuchungszeitpunkt auf Höhe des 3. Brustwirbels. Zu Beginn der Untersuchungen verlief er aufgrund der abgeflachten Stellung des Herzens beinahe parallel zur Wirbelsäule nach kranial. Zum Zeitpunkt der letzten Untersuchung war der Verlauf des Truncus brachiocephalicus durch die Aufrichtung des Herzens mehr bogenförmig. Die Aorta stieg bei allen Kälbern nach dorsal auf, knickte nach kaudal um und verlief parallel zur Wirbelsäule in Richtung Zwerchfell. Dort trat sie am Hiatus aorticus in die Bauchhöhle über. Die V. cava cranialis verlief in der sagittalen Ebene vom Brusteingang zunächst rechts und dann ventral des Truncus brachiocephalicus parallel zur Brustwirbelsäule und mündete kraniodorsal in den rechten Herzvorhof. Auch

die Gabelung der V. cava cranialis in die Vv. jugulares externae dextra und sinistra auf der Höhe des Brusteingangs war sehr gut darstellbar. Die V. cava caudalis gelangte von kaudal über die Leber zum Centrum tendineum des Zwerchfells und trat hier in die Brusthöhle über, um dann in der rechten Thoraxhälfte bis zum rechten Herzvorhof zu verlaufen.

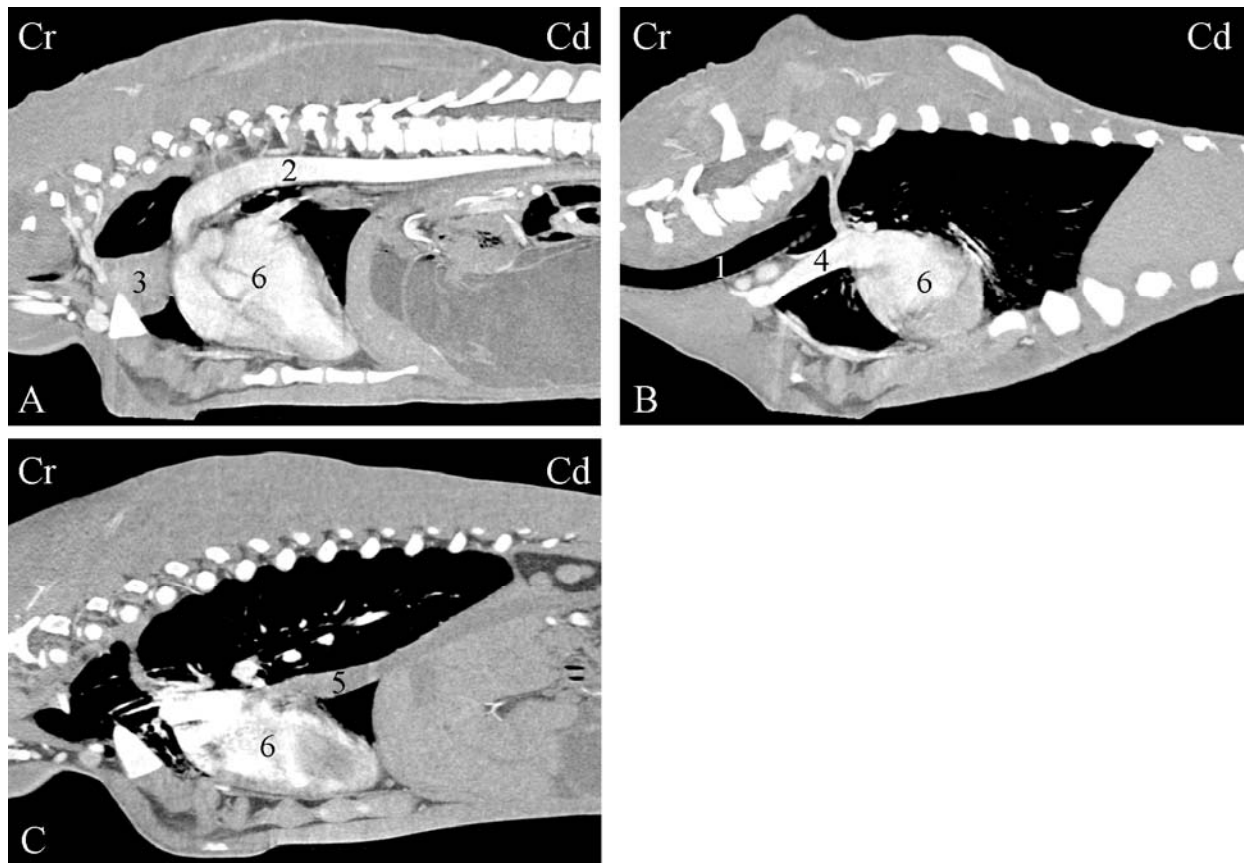


Abb. 11: Darstellung der Aorta thoracica 1 cm links der Medianen (A), der V. cava cranialis 0.5 cm rechts der Medianen im verlauf der Trachea (B) und der V. cava caudalis 1.5 cm rechts der Medianen (C) im Weichteilfenster eines 1 Tage alten HF-Kalbes in der sagittalen Rekonstruktion nach intravenöser Kontrastmittelgabe. Cr Kranial, Cd Kaudal, 1 Trachea, 2 Aorta thoracica, 3 Pars thoracica thymi, 4 V. cava cranialis, 5 V. cava caudalis, 6 Herz

Messungen an den grossen Gefässen

Der Durchmesser der Aorta betrug oberhalb des Aortenbogens bei der ersten CT-

Untersuchung zwischen 1.4 und 2.0 cm (1.7 ± 0.21 cm), nahm bereits zwischen der ersten und der zweiten Untersuchung signifikant zu ($P < 0.05$) und stieg bis zur sechsten CT-Untersuchung auf einen Wert zwischen 2.4 und 3.2 cm (2.7 ± 0.31 cm) an (Tab. 6). Der maximale Durchmesser der V. cava caudalis, gemessen auf der halben Verlaufsstrecke zwischen Herz und Zwerchfell, veränderte sich über die gesamte Untersuchungszeitspanne nur wenig. Er betrug bei der ersten Untersuchung zwischen 1.7 und 2.5 cm (2.0 ± 0.27 cm) und bei der letzten zwischen 1.7 und 2.4 cm (2.0 ± 0.25 cm). Der Durchmesser der V. cava cranialis nahm von der ersten bis zur dritten Untersuchung signifikant zu (1.7 ± 0.21 cm vs. 2.1 ± 0.21 cm; Differenz $P < 0.05$). Der Quotient aus dem Durchmesser der V. cava caudalis und dem Durchmesser der Aorta fiel im Verlauf der Untersuchungen von 1.2 ± 0.14 bei der ersten Untersuchung auf 0.8 ± 0.15 bei der letzten Untersuchung. Der Quotient aus dem maximalen Durchmesser der V. cava caudalis und der Länge des Brustwirbelkörpers auf Höhe der Tracheabifurkation variierte zwischen 0.7 und 1.0 (0.8 ± 0.11) bei der ersten und zwischen 0.5 und 0.7 (0.6 ± 0.09) bei der letzten Untersuchung. Beide Quotienten zeigten eine signifikante Abnahme zwischen der ersten und der zweiten Untersuchung ($P < 0.01$).

Thymus

Der unpaare Brustteil des Thymus konnte zu jedem Untersuchungszeitpunkt asymmetrisch linksseitig in der dorsalen Hälfte des präkardialen Mediastinums gesehen werden (Abb. 12 A bis D). Im Gegensatz dazu waren der Isthmus cervicothoracalis und der kaudale unpaare Teil des Halsthymus nicht eindeutig von den umliegenden Strukturen abgrenzbar. In der sagittalen Ebene stellte sich der Brustthymus zu jedem Untersuchungszeitpunkt als dreieckige bis trapezoide Struktur lateroventral des Truncus brachiocephalicus und linksseitig der V. cava cranialis dar (Abb. 12 B, D). Die transversale Ebene bestätigte die Lokalisation (Abb. 12 A, C).

Tab. 6: Durchmesser von Aorta, V. caudalis und V. cava cranialis; Verhältnisse zwischen dem Durchmesser der V. cava caudalis und dem Durchmesser der Aorta sowie zwischen dem Durchmesser der V. cava caudalis und der Länge des Brustwirbels über der Tracheabifurkation bei 6 HF-Kälbern von der ersten bis zur sechsten Untersuchung ($\bar{x} \pm s$, Schwankungsbreite in Klammern)

Parameter	CT-Untersuchung					
	1	2	3	4	5	6
Aorta (cm)	1.7 \pm 0.21 (1.4 – 2.0)	2.0 \pm 0.19* (1.7 – 2.2)	2.1 \pm 0.10** (2.0 – 2.3)	2.4 \pm 0.22 (2.0 – 2.6)	2.6 \pm 0.26 (2.2 – 2.9)	2.7 \pm 0.31 (2.4 – 3.2)
V. cava caudalis (cm)	2.0 \pm 0.27 (1.7 – 2.5)	1.8 \pm 0.42 (1.4 – 2.4)	1.8 \pm 0.12 (1.6 – 2.0)	2.1 \pm 0.20 (1.2 – 2.5)	1.8 \pm 0.27 (1.4 – 2.1)	2.0 \pm 0.25 (1.7 – 2.4)
V. cava cranialis (cm)	1.7 \pm 0.21 (1.75 – 2.0)	1.9 \pm 0.24 (1.5 – 2.2)	2.1 \pm 0.21* (1.7 – 2.3)	2.2 \pm 0.22** (1.0 – 2.5)	2.3 \pm 0.34 (1.7 – 2.6)	2.3 \pm 0.28 (1.8 – 2.6)
V. cava caudalis/ Aorta	1.2 \pm 0.14 (1.0 – 1.4)	0.9 \pm 0.18** (0.7 – 1.2)	0.8 \pm 0.77 (0.7 – 0.9)	0.9 \pm 0.24 (0.5 – 1.2)	0.7 \pm 0.08 (0.6 – 0.8)	0.8 \pm 0.15 (0.5 – 0.9)
V. cava caudalis/ Länge BW über der Bifurkati-	0.8 \pm 0.11 (0.7 – 1.0)	0.7 \pm 0.15** (0.5 – 0.9)	0.6 \pm 0.56 (0.6 – 0.7)	0.6 \pm 0.14 (0.4 – 0.8)	0.5 \pm 0.09 (0.4 – 0.6)	0.6 \pm 0.09 (0.5 – 0.7)

* Erster signifikanter Unterschied zur ersten Untersuchung, $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

BW Brustwirbel

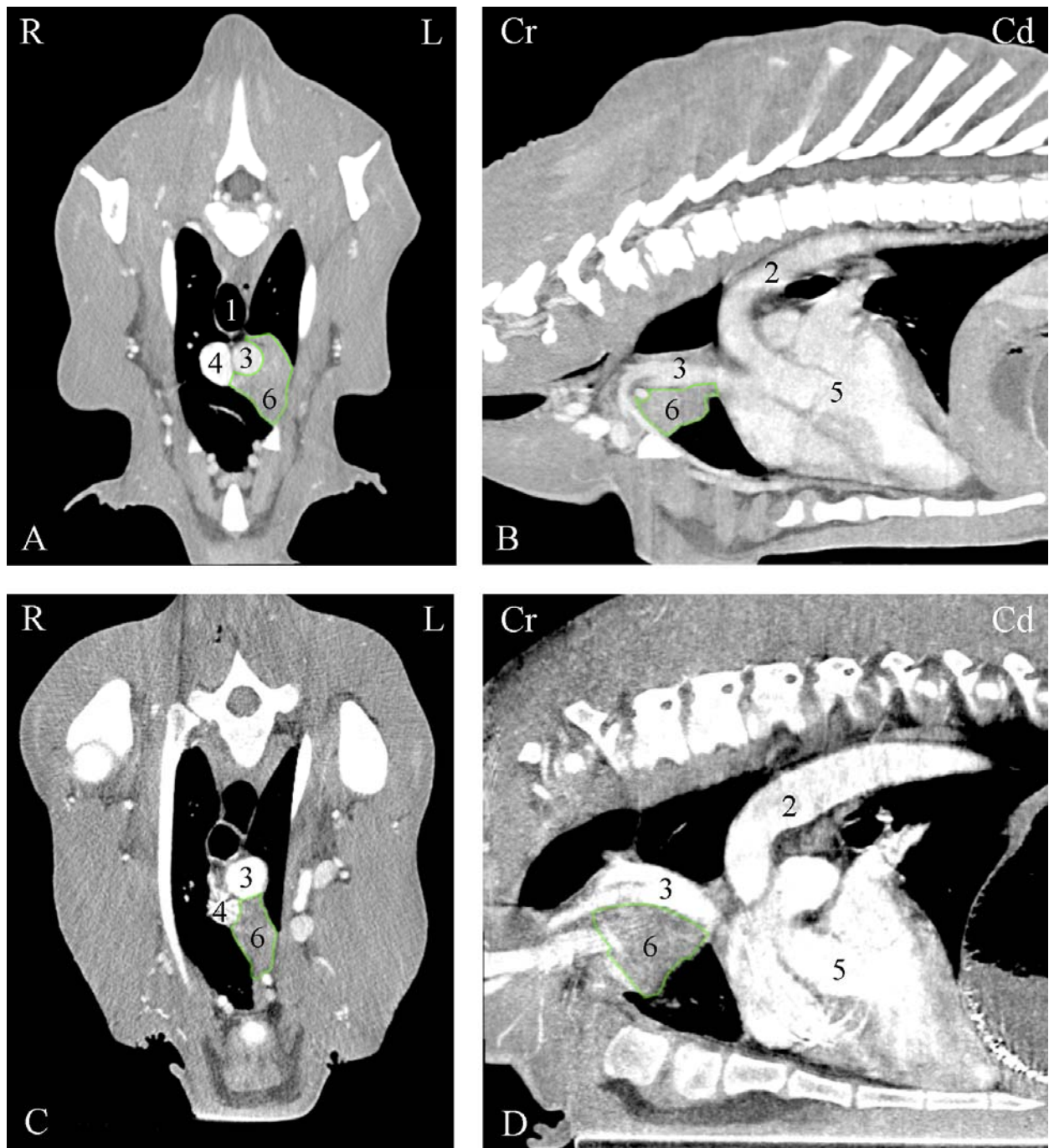


Abb. 12: Darstellung des Brustteils des Thymus in der transversalen (A, C) und sagittalen Ebene (B, D) eines 1 Tage alten (A, B) und eines 105 Tage alten HF-Kalbes (C, D) im Weichteilfenster nach intravenöser Kontrastmittelgabe. R Rechts, L Links, Cr Kranial, Cd Kaudal, 1 Trachea, 2 Aorta thoracica, 3 Truncus brachiocephalicus, 4 V. cava cranialis, 5 Herz, 6 Pars thoracica thymi

Bis zur dritten Untersuchung war der Truncus brachiocephalicus regelrecht vom Thymusgewebe umschlossen. Subjektiv betrachtet nahm die Grösse des Brustthymus im Verlauf der Untersuchungen nur unwesentlich ab.

Lymphknoten

Einer der Lnn. mediastinales craniales konnte bei allen Kälbern rechtsseitig im kranialen Mittelfell neben der Trachea identifiziert werden. Seine Abgrenzbarkeit von den umliegenden Strukturen verbesserte sich ab der dritten Untersuchung stetig. Im Weiteren konnte der grösste der Lnn. mediastinales medii bei allen Kälbern und zu jedem Untersuchungszeitpunkt rechtsseitig über der Herzbasis, im Winkel zwischen Aorta und Oesophagus in der sagittalen Ebene eindeutig identifiziert werden. Auch der grosse Ln. mediastinalis caudalis war zu jedem Untersuchungszeitpunkt bei allen Kälbern weiter kaudal zwischen der Aorta und dem Oesophagus sichtbar. Seine längliche Struktur war bei zwei der sechs Kälber (3, 4) zweigeteilt. Die 2 bis 3 kleineren Anteile dieses Lymphknotens waren nicht eindeutig zu identifizieren. Der relativ kleine Ln. sternalis cranialis konnte mit Ausnahme von einem Kalb (2) bei allen Kälbern zu jedem Untersuchungszeitpunkt als paarig angelegter Lymphknoten angesprochen werden. Von den Lnn. sternales caudales konnte lediglich einer, der über dem M. transversus thoracis liegenden Lymphknoten, sicher identifiziert werden. Der Ln. bifurcationis sinister konnte zwischen Bifurkation und Truncus pulmonalis bei allen Kälbern ab der zweiten Untersuchung identifiziert, jedoch schwierig von den umliegenden Strukturen abgegrenzt werden. Die sehr kleinen Lnn. intercostales, die Lnn. thoracici aortici und der Ln. tracheobronchalis cranialis konnten mit Ausnahme von einigen Lnn. thoracici aortici bei keinem Kalb unabhängig vom Untersuchungszeitpunkt aufgefunden respektive eindeutig identifiziert werden. Von den inkonstant vorkommenden Lymphknoten konnte nur der Ln. bifurcationis dexter bei drei der sechs Kälber (2, 3, 8), jeweils ab der dritten Untersuchung, eindeutig identifiziert werden.

6.4.3. Lungenfenster

Lungenparenchym und Lungenlappen

Die Gliederung der Kälberlunge in die Spitzen- und Zwerchfelllappen der linken und rechten Lungenhälfte konnte zu allen Untersuchungszeitpunkten anhand der feinen, regelmässigen, dünnen, weichteildichten Pleuralfissuren nachvollzogen werden. Auch der Lobus accessorius, der kaudal des Herzens zwischen dem rechten und linken Zwerchfelllappen liegt, konnte zu allen Untersuchungszeitpunkten identifiziert und abgegrenzt werden. Der Lobus medius der rechten Lunge konnte dahingegen meist nur durch die Aufzweigungen des Bronchialbaumes identifiziert werden und eine genaue Abgrenzung vom rechten Zwerchfelllappen war nicht möglich. Die dorsale Ebene (Abb. 13 A) ermöglichte es, die Gabelung der Trachea (1) in die beiden Stammbronchien zu verfolgen und den Winkel zwischen den beiden Stammbronchien zu vermessen. In der transversalen Ebene (Abb. 13 B) stellte sich die Trachea in ihrem Verlauf überwiegend rundlich bis queroval dar. In der sagittalen und dorsalen Ebene (Abb. 13 A, C) konnten die Lappenbronchien (2) im Längsschnitt mit den abgehenden Segmentbronchien verfolgt werden. Im Weiteren konnten in der transversalen Ebene die Bronchien und Gefässe im Querschnitt beurteilt werden. Durch die Anwendung von Kontrastmittel waren die Gefässe sehr gut vom umliegenden Lungengewebe zu differenzieren. Weit kranial der Tracheabifurkation, auf Höhe des 3. bis 4. Brustwirbels, gab die Trachea den für Wiederkäuer spezifischen Bronchus trachealis (1a) zur Versorgung des rechten Spitzenlappens ab (Abb. 13 A, 14 A). Die Tracheabifurkation (1b) lag bei der ersten Untersuchung unmittelbar nach der Geburt bei allen Kälbern auf Höhe des 5. Brustwirbels. Im Verlauf der weiteren Untersuchungen konnte die Tracheabifurkation bei den einzelnen Kälbern zwischen dem 4. und dem 5. Brustwirbel identifiziert werden. Bei den CT-Untersuchungen am 84. und am 105. Lebenstag verlagerte sich die Tracheabifurkation noch weiter nach kranial und lag dann auf Höhe des 4. Brustwirbels (Abb. 14 B). Auf der Höhe der Tracheabifurkation zweigte sich der Truncus pulmonalis in die Aa. pulmonalis sinistra et dextra (6) auf. Wei-

ter kaudal konnte der bronchovaskuläre Versorgungstyp des Rindes auch noch in den Zwerchfelllappen durch die enge Anlehnung der Arterien- und Venenäste an die Lappenbronchien nachvollzogen werden (Abb. 14 C). Die V. cava caudalis konnte bei allen Kälbern, eingebettet in das Lungengewebe, zwischen dem kaudalen rechten Lungenlappen und dem Lobus accessorius verfolgt werden.

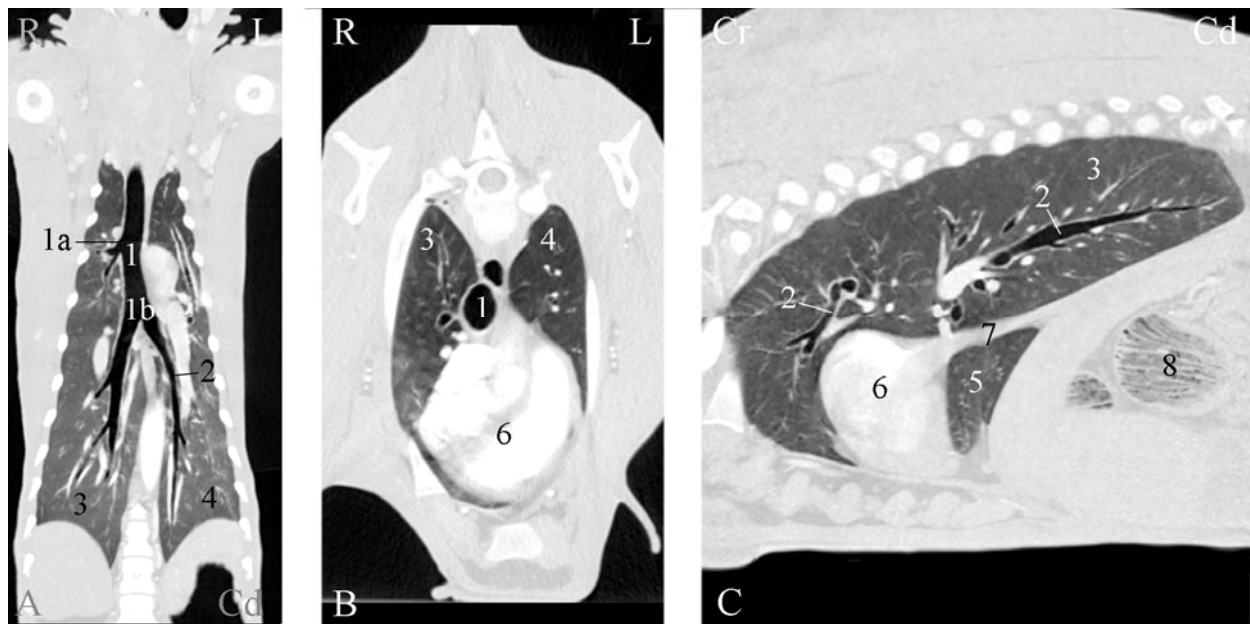


Abb. 13: Darstellung der Lunge eines 21 Tage alten HF-Kalbes im Lungenfenster nach intravenöser Kontrastmittelgabe in der dorsalen Ebene auf Höhe der Trachea (A) , in der transversalen Ebene auf der Höhe des 2. Brustwirbels (B) und in der sagittalen Ebene rechts der Medianen auf der Höhe des rechten Zwerchfelllappenbronchus (C). R Rechts, L Links, Cr Kranial, Cd Kaudal, 1 Trachea, 1a Bronchus trachealis, 1b Bifurkation, 2 Bronchus lobaris, 3 Lobus pulmonis dexter, 4 Lobus pulmonis sinister, 5 Lobus accessorius, 6 Herz, 7 V. cava caudalis 8 Omasum

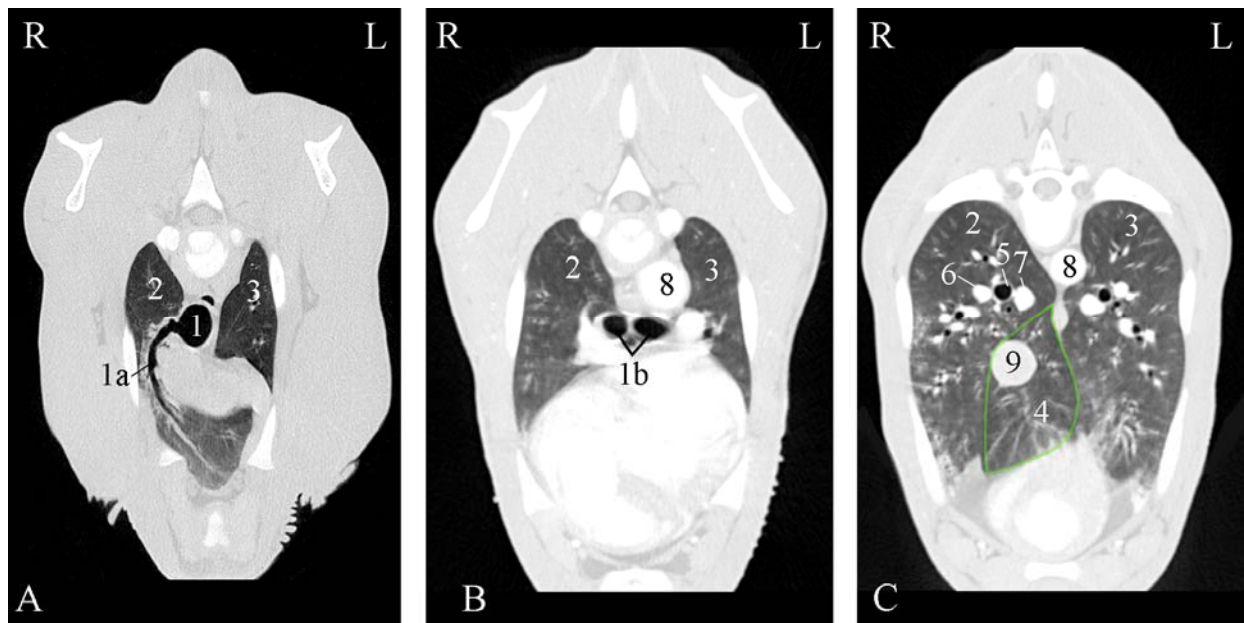


Abb. 14: Darstellung der Trachea und des Bronchus trachealis auf der Höhe des 3. Brustwirbels (A), der Tracheabifurkation auf der Höhe des 5. Brustwirbels (B) und der Lappenbronchien auf Höhe des 7. Brustwirbels (C) im Lungenfenster nach intravenöser Kontrastmittelgabe eines 42 Tage alten HF-Kalbes in der transversalen Ebene. R Rechts, L Links, 1 Trachea, 1a Bronchus trachealis, 1b Bifurkation, 2 Lobus pulmonis dexter, 3 Lobus pulmonis sinister, 4 Lobus accessorius, 5 Bronchus lobaris, 6 A. pulmonalis dextra, 7 V. pulmonalis dextra, 8 Aorta, 9 V. cava caudalis

Messungen an der Trachea

Das Lumen der Trachea wies am Brusteingang eine Ausdehnung (Höhe x Breite) von durchschnittlich 2.0 ± 0.22 cm mal 2.0 ± 0.19 cm bei der ersten Untersuchung und 2.7 ± 0.33 cm mal 2.4 ± 0.26 cm mit 105 Lebenstagen auf (Tab. 7). Die Querschnittfläche des Tracheallumens am Brusteingang und unmittelbar vor der Tracheabifurkation massen zwischen 2.7 und 4.2 cm² (3.3 ± 0.48 cm²) bzw. 2.1 und 4.4 cm² (3.1 ± 0.79 cm²) nach der Geburt und zwischen 3.6 und 7.5 cm² (5.3 ± 1.30 cm²) bzw. 3.9 und 8.0 cm² (4.5 cm²) um den 105. Lebenstag. Die Grössenzunahme der Trachea war am Brusteingang zwischen der ersten und der sechsten Untersuchung und auf Höhe der Bifurkation zwischen der ersten und der vierten

Tab 7: Tracheahöhe, -breite und -fläche und Verhältnis zwischen Tracheahöhe und Thoraxhöhe von 6 HF-Kälbern von der ersten bis zur sechsten Untersuchung ($\bar{x} \pm s$ bzw. Median, Schwankungsbreite in Klammern)

Parameter	CT-Untersuchung					
	1	2	3	4	5	6
Tracheahöhe am Brusteingang (cm)	2.0 \pm 0.22 (1.8 – 2.4)	2.3 \pm 0.32 (1.9 – 2.7)	2.3 \pm 0.27 (1.9 – 2.6)	2.3 \pm 0.32 (1.9 – 2.8)	2.3 \pm 0.33 (1.8 – 2.7)	2.7 \pm 0.33* (2.3 – 3.3)
Tracheabreite am Brusteingang (cm)	2.0 \pm 0.19 (1.7 – 2.2)	2.0 \pm 0.21 (1.8 – 2.4)	2.1 \pm 0.08 (2.0 – 2.2)	2.1 \pm 0.25 (1.6 – 2.3)	2.0 \pm 0.17 (1.8 – 2.3)	2.4 \pm 0.26* (2.1 – 2.7)
Tracheafläche am Brusteingang (cm ²)	3.3 \pm 0.48 (2.7 – 4.2)	3.9 \pm 0.81 (3.1 – 5.4)	4.0 \pm 0.79 (2.8 – 5.0)	4.0 \pm 0.99 (2.6 – 5.3)	3.7 \pm 1.28 (2.4 – 5.4)	5.3 \pm 1.30* (3.6 – 7.5)
Tracheafläche vor der Bifurkation (cm ²)	3.1 \pm 0.79 (2.1 – 4.4)	3.7 \pm 0.92 (2.4 – 5.2)	3.8 \pm 0.62 (3.1 – 4.6)	4.0 \pm 0.59* (3.4 – 5.0)	4.2 \pm 0.82 (3.5 – 5.7)	4.5 [§] (3.9 – 8.0)
Trachea-/ Thoraxhöhe	0.2 \pm 0.10 (0.17 – 0.19)	0.2 \pm 0.02 (0.17 – 0.22)	0.2 \pm 0.03 (0.13 – 0.19)	0.2 \pm 0.02 (0.12 – 0.19)	0.2 \pm 0.02 (0.12 – 0.18)	0.2 \pm 0.17 (0.14 – 0.19)

* Erster signifikanter Unterschied zur ersten Untersuchung, $P < 0.05$

[§] Median, da keine Normalverteilung

Untersuchung signifikant ($P < 0.05$). Das Verhältnis der Tracheahöhe zur Thoraxhöhe aller sechs Kälber veränderte sich im Verlauf der Untersuchungen nicht signifikant und lag bei der ersten und letzten CT-Untersuchung im Durchschnitt bei $0.2 (\pm 0.10)$ bzw. $0.2 (\pm 0.17)$.

Messungen an den Stammbronchien

Die beiden Stammbronchien wiesen bei der ersten Untersuchung links einen grössten Lumendurchmesser von 1.2 ± 0.20 cm und rechts einen solchen von 1.2 ± 0.35 cm auf (Tab. 8). Bei der letzten Untersuchung betrugen die Durchmesser 1.6 ± 0.28 cm links und 1.7 ± 0.26 cm rechts. Der jeweilige Lumendurchmesser senkrecht zu diesem betrug bei der ersten Untersuchung im Durchschnitt 1.1 ± 0.17 cm am linken Stammbronchus und 1.1 ± 0.16 cm am rechten Stammbronchus. Im Vergleich dazu ergaben die Messungen der letzten Untersuchung einen Wert von durchschnittlich 1.6 ± 0.31 cm am linken und von 1.6 cm am rechten Stammbronchus. Im Kollektiv nahmen die Lumendurchmesser beider Stammbronchien zwischen der ersten und der fünften Untersuchung signifikant zu ($P < 0.05$). Das Verhältnis der beiden Durchmesser zueinander ergab bei der ersten Untersuchung einen Wert zwischen 0.8 und 1.6 (1.1 ± 0.26) für den linken Stammbronchus bzw. zwischen 0.9 und 1.7 (1.1 ± 0.32) für den rechten Stammbronchus. Bei der letzten Untersuchung ergab sich ein Wert zwischen 0.9 und 1.1 (1.0 ± 0.07) für den linken Stammbronchus und zwischen 0.9 und 1.2 (1.1 ± 0.10) für den rechten Stammbronchus. Die Gesamtfläche des linken und rechten Stammbronchus, gemessen unmittelbar nach der Bifurkation, betrug kurz nach der Geburt durchschnittlich 1.7 ± 0.39 cm² bzw. 1.8 ± 0.40 cm² und 4.0 ± 1.16 cm² bzw. 4.3 ± 0.89 cm² um den 105. Lebenstag (Tab. 9). Im Vergleich dazu mass die Lumenfläche des linken und rechten Stammbronchus 1.1 ± 0.26 cm² bzw. 1.2 ± 0.29 cm² bei der ersten Untersuchung und 2.2 ± 0.68 cm² bzw. 2.3 ± 0.72 cm² bei der letzten Untersuchung. Für die aus beiden Parametern errechnete Wandfläche ergaben sich bei der ersten Untersuchung Mittelwerte von 0.6 ± 0.16 cm² für den linken

Tab. 8: Durchmesser der Stammbronchien in cm und Verhältnisse der Durchmesser 1 und 2 zueinander bei 6 HF-Kälbern von der ersten bis zur sechsten Untersuchung ($\bar{x} \pm s$ bzw. Median, Schwankungsbreite in Klammern)

Parameter	CT-Untersuchung					
	1	2	3	4	5	6
Durchmesser 1 links	1.2 \pm 0.20 (0.9 – 1.5)	1.3 \pm 0.28 (1.1 – 1.8)	1.5 \pm 0.16** (1.3 – 1.7)	1.4 \pm 0.20 (1.1 – 1.7)	1.6 \pm 0.18 (1.3 – 1.9)	1.6 \pm 0.28 (1.2 – 2.0)
Durchmesser 2 links	1.1 \pm 0.17 (0.9 – 1.3)	1.4 \pm 0.21* (1.2 – 1.8)	1.5 \pm 0.20** (1.3 – 1.8)	1.4 \pm 0.25 (1.2 – 1.8)	1.5 \pm 0.21 (1.2 – 1.8)	1.6 \pm 0.31 (1.2 – 2.2)
Durchmesser 1 rechts	1.2 \pm 0.35 (0.9 – 1.9)	1.4 \pm 0.18 (1.2 – 1.7)	1.7 \pm 0.11 (1.5 – 1.9)	1.6 \pm 0.28 (1.2 – 2.0)	1.7 \pm 0.17* (1.4 – 1.9)	1.7 \pm 0.26 (1.5 – 2.2)
Durchmesser 2 rechts	1.1 \pm 0.16 (0.9 – 1.4)	1.3 \pm 0.19 (1.0 – 1.6)	1.4 \pm 0.18 (1.2 – 1.6)	1.4 \pm 0.19* (1.1 – 1.6)	1.5 \pm 0.15** (1.3 – 1.6)	1.6 [§] (1.4 – 2.0)
Durchmesser 1/ Durchmesser 2 links	1.1 \pm 0.26 (0.8 – 1.6)	0.9 \pm 0.16 (0.6 – 1.1)	1.0 \pm 0.39 (0.9 – 1.0)	1.0 \pm 0.10 (0.9 – 1.2)	1.1 \pm 0.10 (1.0 – 1.2)	1.0 \pm 0.07 (0.9 – 1.1)
Durchmesser 1/ Durchmesser 2 rechts	1.1 \pm 0.32 (0.9 – 1.7)	1.1 \pm 0.10 (1.0 – 1.3)	1.2 \pm 0.11 (1.1 – 1.4)	1.2 \pm 0.21 (1.0 – 1.5)	1.1 \pm 0.14 (1.0 – 1.4)	1.1 \pm 0.10 (0.9 – 1.2)

* Erster signifikanter Unterschied zur ersten Untersuchung, $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

[§] Median, da keine Normalverteilung

Durchmesser 1 = Grösster Lumendurchmesser der Stammbronchien

Durchmesser 2 = Grösster Lumendurchmesser senkrecht zum Durchmesser 1

Tab. 9: Gesamt-, Lumen- und Wandfläche der Stammbronchien von 6 HF-Kälbern von der ersten bis zur sechsten Untersuchung ($\bar{x} \pm s$ bzw. Median, Schwankungsbreite in Klammern)

Parameter	1. CT-Untersuchung		2. CT-Untersuchung		3. CT-Untersuchung	
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
Gesamtfläche (cm ²)	1.7 ± 0.39 (1.3 – 2.3)	1.8 ± 0.40 (1.4 – 2.3)	2.1 [§] (1.9 – 3.8)	2.6 ± 0.50** (2.0 – 3.5)	3.3 ± 0.81** (2.3 – 4.3)	2.9 ± 0.42 (2.9 – 4.2)
Lumenfläche (cm ²)	1.1 ± 0.26 (0.81 – 1.4)	1.2 ± 0.29 (0.8 – 1.5)	1.4 [§] (1.2 – 2.7)	1.5 ± 0.38 (1.2 – 2.2)	1.9 ± 0.50** (1.3 – 2.7)	2.0 ± 0.41** (1.6 – 2.7)
Wandfläche (cm ²)	0.6 ± 0.16 (0.4 – 0.9)	0.6 ± 0.11 (0.5 – 0.8)	0.8 ± 0.18** (0.6 – 1.1)	1.1 ± 0.26** (0.7 – 1.5)	1.3 ± 0.36 (0.9 – 1.8)	1.4 ± 0.09 (1.3 – 1.5)

Parameter	4. CT-Untersuchung		5. CT-Untersuchung		6. CT-Untersuchung	
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
Gesamtfläche (cm ²)	3.1 ± 0.72 (2.2 – 4.3)	3.7 ± 0.71 (2.7 – 4.6)	3.9 ± 0.69 (3.0 – 4.6)	4.0 ± 0.49 (3.2 – 4.5)	4.0 ± 1.16 (2.6 – 5.7)	4.3 ± 0.89 (3.5 – 6.0)
Lumenfläche (cm ²)	1.7 ± 0.43 (1.0 – 2.2)	1.9 ± 0.45 (1.2 – 2.4)	2.2 [§] (1.1 – 2.4)	2.2 ± 0.32 (1.6 – 2.6)	2.2 ± 0.68 (1.6 – 3.8)	2.3 ± 0.72 (1.6 – 3.7)
Wandfläche (cm ²)	1.3 [§] (1.2 – 2.1)	1.7 ± 0.30 (1.3 – 2.2)	1.9 ± 0.35 (1.3 – 2.1)	1.8 ± 0.29 (1.5 – 2.3)	1.7 ± 0.49 (0.94 – 2.2)	2.0 ± 0.37 (1.5 – 2.4)

** Erster signifikanter Unterschied zur ersten Untersuchung, $P < 0.01$

[§] Median, da keine Normalverteilung

Stammbronchus und $0.6 \pm 0.11 \text{ cm}^2$ für den rechten Stammbronchus. Bei der letzten Untersuchung betrug die Wandfläche durchschnittlich $1.7 \pm 0.49 \text{ cm}^2$ beim linken Stammbronchus und $2.0 \pm 0.37 \text{ cm}^2$ beim rechten Stammbronchus. Insgesamt konnte im Verlauf der Untersuchungen eine kontinuierliche Vergrößerung der beiden Stammbronchien gezeigt werden, wobei die Grössenzunahme zwischen der ersten der dritten Untersuchung signifikant war ($P < 0.01$). Der in der dorsalen Ebene gemessene interbronchiale Winkel variierte zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten sehr stark und lag zwischen 36.1° und 46.5° ($41.1 \pm 3.62^\circ$) bei der ersten Untersuchung und zwischen 51.2° und 73.3° ($63.7 \pm 8.65^\circ$) bei der letzten Untersuchung (Tab. 10).

Tab. 10: Interbronchialer Winkel von 6 Kälbern (in Grad)

CT-Untersuchung	Interbronchialer Winkel	
	$\bar{x} \pm s$	Schwankungsbreite
1	41.1 ± 3.62	36.1 – 46.5
2	42.0 ± 4.70	35.2 – 47.4
3	47.7 ± 7.86	37.8 – 61.1
4	49.2 ± 7.02	38.3 – 58.6
5	58.0 ± 12.64	41.2 – 75.6
6	63.7 ± 8.65	51.2 – 73.3

Messungen an den Lappenbronchien

Die Lumenfläche des linken und rechten Bronchus lobaris des Zwerchfelllappens war bei der ersten Untersuchung am grössten und betrug durchschnittlich $0.6 \pm 0.14 \text{ cm}^2$ im linken und $0.7 \pm 0.14 \text{ cm}^2$ im rechten Zwerchfelllappen (Tab. 11). Bei der zweiten Untersuchung fiel der Wert signifikant ($P < 0.01$) auf durchschnittlich $0.3 \pm 0.09 \text{ cm}^2$ im linken und $0.3 \pm 0.14 \text{ cm}^2$ im rechten Zwerchfelllappen ab. In den folgenden Untersuchungen stieg der Durchmesser bis zur letzten Untersuchung wieder stetig auf $0.5 \pm 0.15 \text{ cm}^2$ im linken und $0.5 \pm 0.20 \text{ cm}^2$ im rechten Zwerchfelllappen an.

Tab. 11: Messung der Querschnittflächen der Lappenbronchien und der entsprechenden mitlaufenden Arterien- und Venenäste im linken und rechten Zwerchfelllappen der Lunge von 6 HF-Kälbern von der ersten bis zur sechsten Untersuchung ($\bar{x} \pm s$ bzw. Median, Schwankungsbreite in Klammern)

Querschnittfläche (cm ²)	1. CT-Untersuchung		2. CT-Untersuchung		3. CT-Untersuchung	
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
Lappenbronchus	0.6 ± 0.14 (0.4 – 0.8)	0.7 ± 0.14 (0.5 – 0.8)	0.3 ± 0.09** (0.2 – 0.4)	0.3 ± 0.14** (0.2 – 0.5)	0.4 ± 0.17 (0.1 – 0.6)	0.4 ± 0.20 (0.2 – 0.7)
Ramus lobi caudalis der Aa. pulmonales	0.5 ± 0.13 (0.4 – 0.8)	0.7 ± 0.23 (0.5 – 1.1)	0.3 ± 0.54** (0.2 – 0.4)	0.4 ± 0.26* (0.2 – 0.9)	0.4 ± 0.16 (0.2 – 0.7)	0.5 ± 0.21 (0.3 – 0.8)
Ramus lobi caudalis der Vv. pulmonales	0.6 ± 0.21 (0.3 – 1.0)	0.7 ± 0.13 (0.5 – 0.9)	0.3 ± 0.66* (0.2 – 0.4)	0.3*§ (0.2 – 0.6)	0.5 ± 0.15 (0.2 – 0.7)	0.5 ± 0.22 (0.3 – 0.7)
Querschnittfläche (cm ²)	4. CT-Untersuchung		5. CT-Untersuchung		6. CT-Untersuchung	
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
Lappenbronchus	0.4 ± 0.09 (0.3 – 0.5)	0.4 ± 0.11 (0.2 – 0.5)	0.4 ± 0.16 (0.2 – 0.6)	0.4§ (0.3 – 0.6)	0.5 ± 0.15 (0.3 – 0.8)	0.5 ± 0.20 (0.3 – 0.8)
Ramus lobi caudalis der Aa. pulmonales	0.6 ± 0.19 (0.4 – 0.9)	0.5 ± 0.13 (0.4 – 0.7)	0.5 ± 0.23 (0.3 – 0.8)	0.5 ± 0.13 (0.4 – 0.7)	0.6 ± 0.12 (0.4 – 0.8)	0.7 ± 0.16 (0.4 – 0.8)
Ramus lobi caudalis der Vv. pulmonales	0.5 ± 0.15 (0.3 – 0.7)	0.5 ± 0.20 (0.3 – 0.7)	0.5 ± 0.28 (0.2 – 0.9)	0.5 ± 0.21 (0.3 – 0.9)	0.6 ± 0.15 (0.4 – 0.7)	0.7 ± 0.30 (0.3 – 1.0)

* Erster signifikanter Unterschied zur ersten Untersuchung, $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

§ Median, da keine Normalverteilung

Topographie und Messungen an den Bronchialgefäßen

Die Äste der A. und V. pulmonalis verliefen zu allen Untersuchungszeitpunkten entsprechend dem Lungentyp I (McLAUGHLIN et al., 1961) unmittelbar neben den entsprechenden Lappenbronchien. Dabei verliefen die Rami der Aa. pulmonalis unmittelbar lateral und diejenigen der Vv. Pulmonales unmittelbar medial des entsprechenden Lappenbronchus. Die Querschnittfläche des Ramus lobi caudalis der A. pulmonalis sinistra im linken Zwerchfelllappen lag zwischen 0.4 und 0.8 cm² (0.5 ± 0.13 cm²) bei der ersten Untersuchung und zwischen 0.4 und 0.8 cm² (0.6 ± 0.12 cm²) bei der letzten Untersuchung (Tab. 11). Die Querschnittfläche des Ramus lobi caudalis der A. pulmonalis dextra variierte im rechten Zwerchfelllappen bei der ersten Untersuchung zwischen 0.5 und 1.1 cm² (0.7 ± 0.23 cm²) und zwischen 0.4 und 0.8 cm² (0.7 ± 0.16 cm²) bei der letzten Untersuchung. Für die Vv. pulmonales lobi caudalis sinistri et dextri lagen die Messwerte zwischen 0.3 und 1.0 cm² (0.6 ± 0.21 cm²) bzw. 0.5 und 0.9 cm² (0.7 ± 0.13 cm²) bei der ersten Untersuchung und zwischen 0.4 und 0.7 cm² (0.6 ± 0.15 cm²) bzw. 0.3 und 1.0 cm² (0.7 ± 0.30 cm²) bei der letzten Untersuchung. Obwohl sich die Durchmesser der die Lappenbronchien begleitenden Gefäße im gesamten Untersuchungsverlauf nur geringgradig unterschieden, ergab sich eine signifikante Lumenverkleinerung zwischen der ersten und zweiten Untersuchung ($P < 0.05$).

Lungendichte

Aufgrund von pathologischen Veränderungen im Messbereich variierte die Lungendichte der einzelnen Kälber zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten sehr stark (Tab. 12); es konnte jedoch im Kollektiv kein signifikanter Unterschied zur ersten Untersuchung ermittelt werden. Die Dichte lag im linken Lungenlappen bei der ersten Untersuchung zwischen -714.4 und -557.5 HU (-655 ± 61.73 HU) und bei der letzten zwischen -755.0 und -496.5 HU (-623.7 ± 108.23 HU). Im rechten Lungenlappen lag die Dichte zwischen -707.4 und -591.4 HU

(-659 ± 41.48 HU) bei der ersten Untersuchung und bei der letzten Untersuchung zwischen -750.2 und -510.5 HU (-634.2 ± 92.84 HU).

Tab. 12: Lungendichte in Hounsfieldseinheiten (HU) bei 6 Kälbern ($\bar{x} \pm s$ bzw. Median, Schwankungsbreite in Klammern)

CT-Untersuchung	Linke Lungenhälfte	Rechte Lungenhälfte
1	-655.1 ± 61.73 (-714.4 – -557.5)	-659.0 ± 41.48 (-707.4 – -591.4)
2	-638.0 ± 40.22 (-689.0 – -588.4)	-629.9 ± 39.43 (-702.2 – -598.5)
3	-640.0 [§] (-764.9 – -598.1)	-669.2 ± 64.44 (-761.9 – -586.6)
4	-665.1 ± 70.38 (-774.5 – -591.7)	-687.2 ± 61.69 (-762.9 – -623.4)
5	-691.3 ± 56.72 (-771.1 – -620.5)	-700.1 ± 50.79 (-780.0 – -644.3)
6	-623.7 ± 108.23 (-755.0 – -496.5)	-634.2 ± 92.84 (-750.2 – -510.5)

[§] Median, da keine Normalverteilung

Vergleich der Messungen zwischen linker und rechter Lunge

In Bezug auf die Lungendichte, die Messungen an den Stamm- und Lappenbronchien und die Messungen an den mitlaufenden Gefäßen unterschied sich die rechte Lungenhälfte nicht signifikant von der linken.

Pathologische CT-Befunde an der Lunge der einzelnen Kälber im Verlauf der Untersuchungen

Bei allen Kälbern konnten zu jedem Untersuchungszeitpunkt leicht- bis mittelgradige Atelektasen im ventralen Bereich der kranialen und kaudalen Lungenlappen gesehen werden. Am stärksten ausgeprägt waren die Atelektasen im kardiophrenischen Winkel zum Zeitpunkt der ersten Untersuchung. Im Weiteren konnten bei allen Kälbern und jeder Untersuchung gering- bis hochgradige milchglasartige

Verschattungen gefunden werden. Diese erstreckten sich individuell unterschiedlich auf die einzelnen Lungenlappen. Zudem konnten bei jedem Kalb zu jedem Untersuchungszeitpunkt gering- bis mittelgradige Bronchiektasien und peribronchovaskuläre Verdickungen beobachtet werden. Bei der Beurteilung der Ausdehnung und Symmetrie der beiden Lungenhälften war die rechte Lunge im Transversalschnitt bei allen Kälbern unabhängig vom Untersuchungszeitpunkt grösser als die linke. Das Mediastinum war stets unverlagert als parallele Doppellinie primär links der Medianen gelegen. Unabhängig von den erwähnten Veränderungen zeigten die Kälber, mit Ausnahme der Kälber 3 und 8, auch noch individuelle pathologische Lungenzeichnungen und teilweise leichtgradige Veränderungen der Pleura visceralis, die auf leicht- bis hochgradige Bronchopneumonien zurückzuführen waren. Diese individuellen pathologischen CT-Befunde der Lungen wurden tabellarisch zusammengefasst (Anhang 2 Tab. 13 bis 18) und teilweise mit Bildern dokumentiert (Anhang 3 Abb. 33 bis 39).

6.5. Vergleich der CT-Aufnahmen mit den anatomischen Schnitten

Bei der vergleichenden Gegenüberstellung der CT-Bilder mit den korrespondierenden anatomischen Schnittbildern in der transversalen, sagittalen und dorsalen Ebene wird der Anatomieschnitt in der Mitte dargestellt. Links davon befindet sich das Weichteilfenster und rechts davon das Lungenfenster jeweils nach intravenöser Kontrastmittelgabe aus der CT-Thoraxstudie des gleichen Kalbes. Die CT-Bilder im Knochenfenster sind hier nicht dargestellt. Auf der gleichen Seite ist jeweils in einer kleineren Abbildung die entsprechende Schnittebene in der sagittalen und dorsalen Darstellung zu sehen. Die Seiten sind mit den Buchstaben R = Rechts, L = Links, Cr = Kranial und Cd = Kaudal bezeichnet.

6.5.1. Legende zu den Abbildungen

Knöcherne Strukturen (Grossbuchstaben):

- A Vertebra thoracica – Brustwirbel
- B Processus spinosus vertebrae thoracicae – Dornfortsatz des Brustwirbels
- C Scapula – Schulterblatt
- D Caput costae – Rippenkopf
- D' Tuberculum costae – Rippenhöcker
- E Costa – Rippe
- F Cartilago costalis – Rippenknorpel
- G Sternum – Brustbein
- H Humerus – Oberarmbein
- I Manubrium sterni – Brustbeinspitze
- J Processus xiphoideus bzw. Cartilago xiphoidea – Schaufelknorpel

Muskeln (Kleinbuchstaben):

- a M. supraspinatus – Oberer Grätenmuskel
- b M. infraspinatus – Unterer Grätenmuskel
- c M. rhomboideus thoracis – Brustkorbteil des Rautenmuskels
- d M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis – Dornfortsatzmuskel
- e M. longus colli – Halsbeuger
- f M. longissimus thoracis – Brustkorbportion des langen Rücken-, Hals- und Kopfmuskels
- g Lig. nuchae – Nackenband
- h M. latissimus dorsi
- i M. trapezius
- j Mm. multifidi thoracis
- k M. subscapularis – Unterschultermuskel
- l Mm. intercostales – Zwischenrippenmuskeln
- m M. transversus thoracis – Brustbeinmuskel
- n Mm. pectorales superficiales – Oberflächliche Brustmuskeln
- o M. pectoralis profundus – Tiefer Brustmuskel
- p M. rectus abdominis – Gerader Bauchmuskel

Organe und Gefässe des Thorax (Zahlen):

- 1 Trachea – Luftröhre/Bifurcatio tracheae - Luftröhrengabelung
- 2 Oesophagus – Speiseröhre
- 3 Aorta – Grosse Körperschlagader
- 4 Truncus pulmonalis – Stamm der Lungenarterien
- 5 Vv. pulmonales – Lungenvenen

- 6 Truncus brachiocephalicus – Stamm der Vorderbein- bzw. Kopfarterien
- 7 V. cava cranialis – Vordere Hohlvene
- 8 V. cava caudalis – Hintere Hohlvene
- 9 Ostium v. cavae cranialis – Mündung der kranialen Hohlvene
- 10 Ventriculus cordis sinister – Linke Herzkammer
- 11 Ventriculus cordis dexter – Rechte Herzkammer
- 12 Atrium cordis dextrum – Rechter Herzvorhof
- 13 Atrium cordis sinistrum – Linker Herzvorhof
- 14 Apex cordis – Herzspitze
- 15 Lobi pulmones sinistri – Lappen der linken Lunge
- 16 Lobi pulmones dextri – Lappen der rechten Lunge
- 17 Thymus – Brustdrüse
- 18 Bronchus lobaris – Bronchus des entsprechenden Lungenlappens
- 19 Bronchi segmentales – Segmentalbronchen innerhalb der Lungenlappen
- 20 Lobus accessorius pulmonis – Akzessorischer Lungenlappen
- 21 A. und V. thoracica interna – Innere Brustkorbarterie und Vene
- 22 A. und V. axillaris – Achselarterie und Vene
- 23 A. pulmonalis dextra seu sinistra – Linke oder rechte Lungenarterie
- 24 V. pulmonalis lobi caudalis sinistra seu dextra – Linke oder rechte Lungen-
vene im kaudalen Lungenlappen

Weitere Strukturen des kranialen Abdomens in den Thoraxschnitten (Zahlen):

- 25 Reticulum – Netzmagen, Haube
- 26 Hepar – Leber
- 27 Rumen – Pansen
- 28 Omasum – Blättermagen, Psalter
- 29 Abomasum – Labmagen
- 30 Lien – Milz
- 31 V. portae – Pfortader
- 32 V. hepatica – Lebervene
- 33 Vesica fellea – Gallenblase.

6.5.2. Transversalschnittanatomie des Thorax eines Kalbes

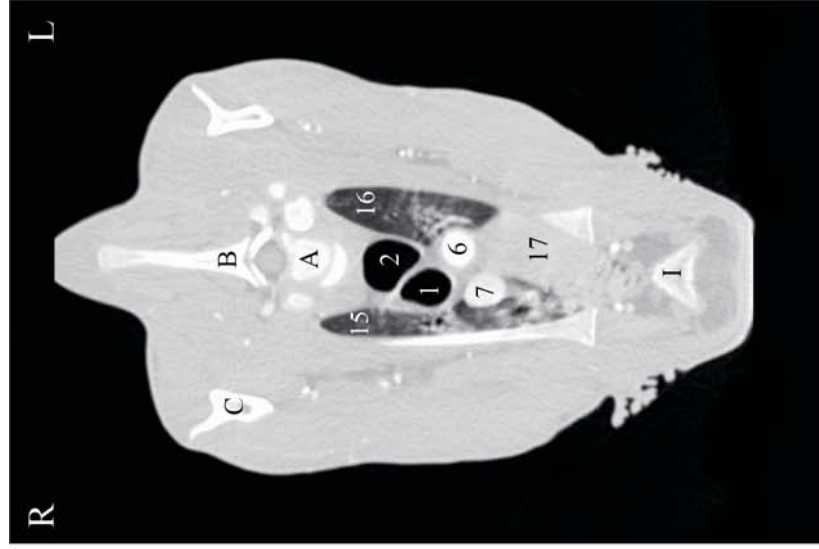
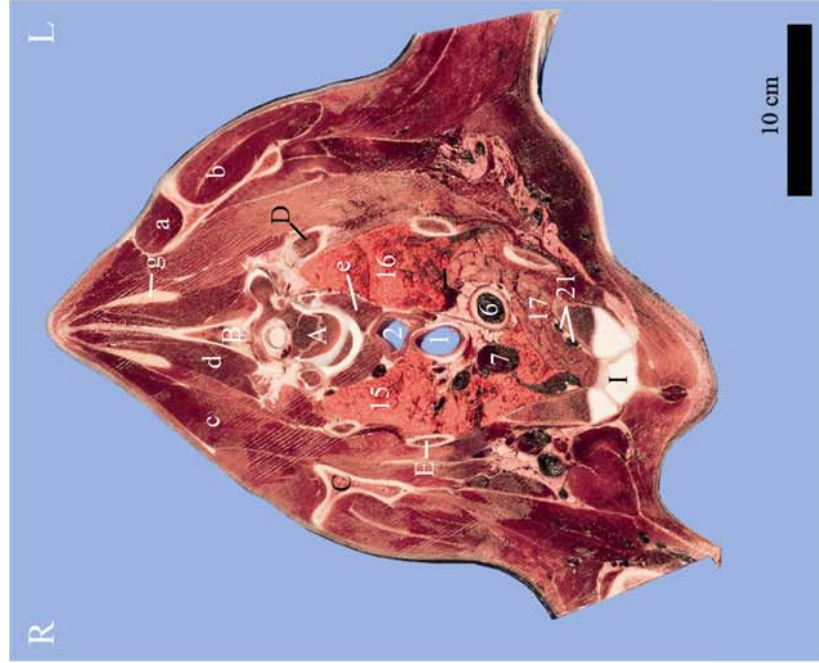
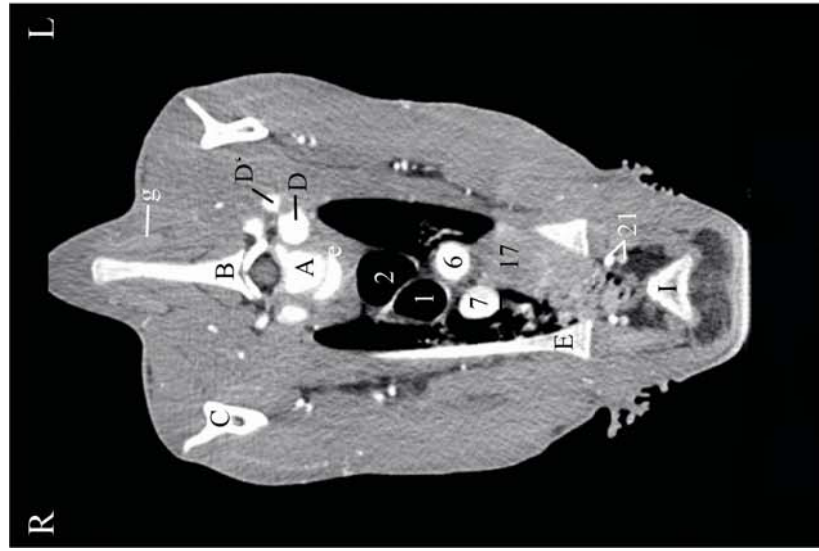


Abb. 15: Vergleich der Weichteil- und Lungenfenster mit dem anatomischen Schnitt auf Höhe des zweiten Brustwirbels

A Vertebra thoracica, B Processus spinosus, D Caput costae, D' Tuberculum costae, E Costata, I Manubrium sterni
a M. supraspinatus, b M. infraspinatus, c M. rhomboideus thoracis, d M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis, e M. longus colli, g Lig. nuchae, 1 Trachea, 2 Oesophagus, 6 Truncus brachiocephalicus, 7 V. cava cranialis, 15 Lobus cranialis pulmonis dextri, 16 Lobus cranialis pulmonis sinistri, 17 Thymus, 21 A. et V. thoracica interna



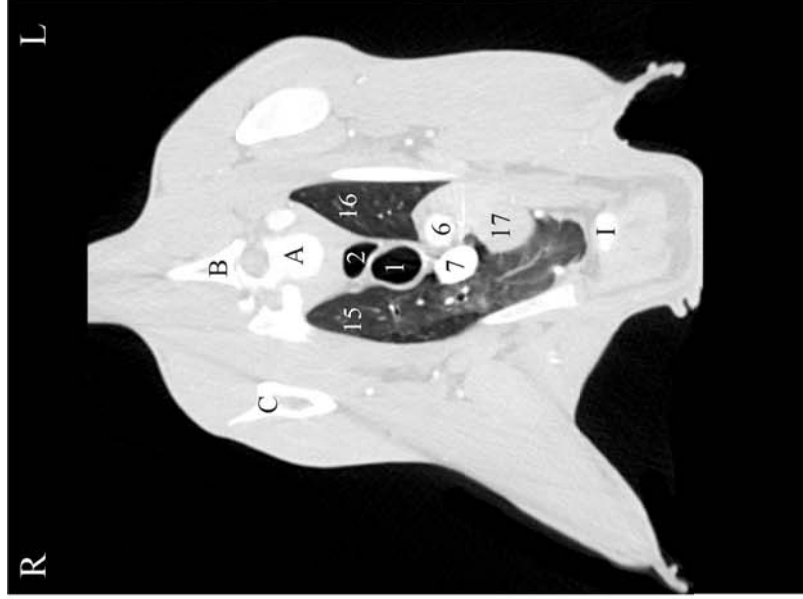
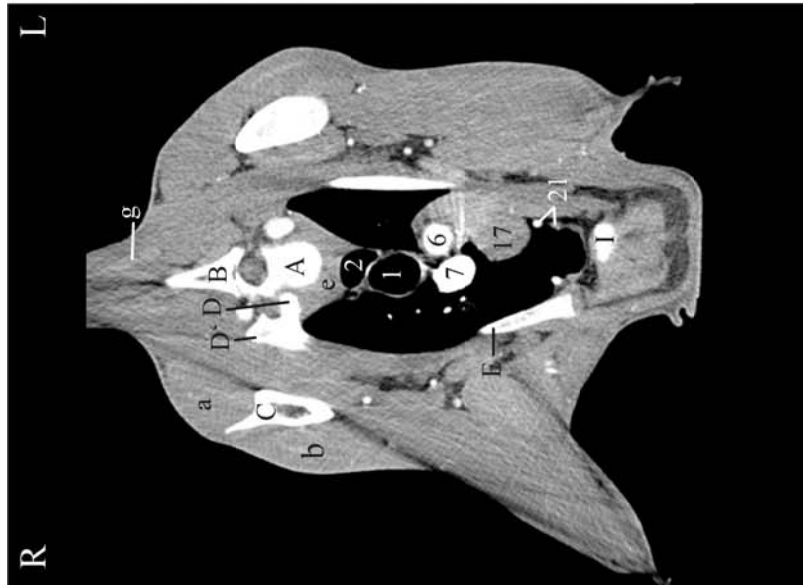


Abb. 16: Vergleich der Weichteil- und Lungenfenster mit dem anatomischen Schnitt auf Höhe des dritten Brustwirbels

A Vertebra thoracica, B Processus spinosus, D Caput costae, D' Tuberculum costae, E Costata, I Manubrium sterni
a M. supraspinatus, b M. infraspinatus, c M. rhomboideus thoracis, d M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis, e M. longus colli, g Lig. nuchae, 1 Trachea, 2 Oesophagus, 6 Truncus brachiocephalicus, 7 V. cava cranialis, 15 Lobus cranialis pulmonis dextri, 16 Lobus cranialis pulmonis sinistri, 17 Thymus, 21 A. et V. thoracica interna



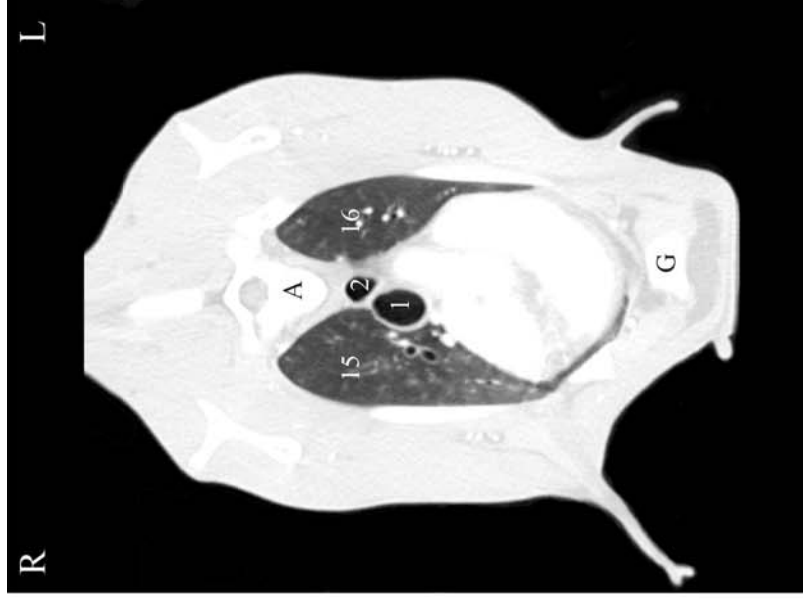
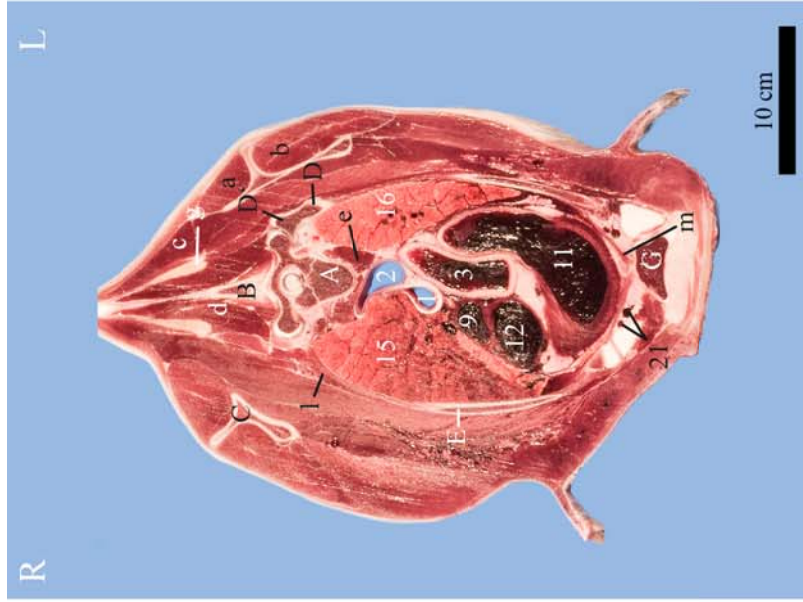
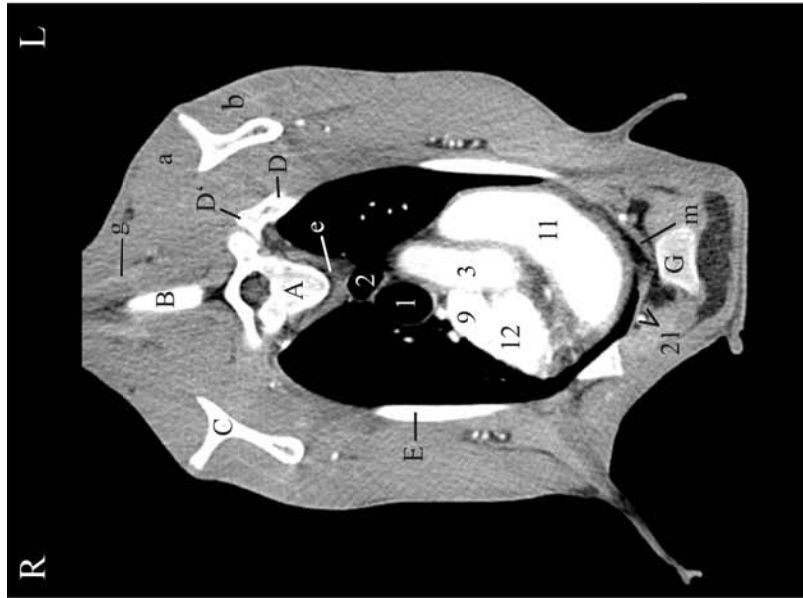
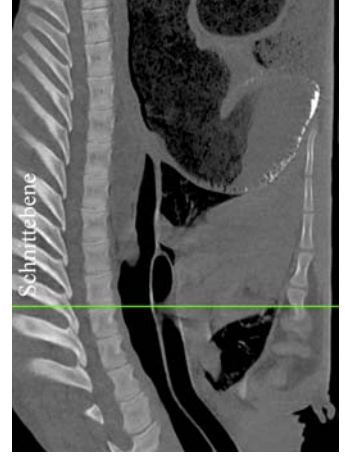


Abb. 17: Vergleich der Weichteil- und Lungenfenster mit dem anatomischen Schnitt zwischen dem dritten und vierten Brustwirbel

A Vertebra thoracica, B Processus spinosus, D Caput costae, D' Tuberculum costae, E Costae, G Sternum
a M. supraspinatus, b M. infraspinatus, c M. rhomboideus thoracis, d M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis, e M. longus colli, g Lig. nuchae, m M. transversus thoracis, 1 Traachea, 2 Oesophagus, 3 Aorta, 9 Ostium v. cavae cranialis, 11 Lobus cranialis pulmonis sinister, 12 Atrium cordis dextrum, 15 Lobus cranialis pulmonis sinister, 16 Lobus cranialis interna



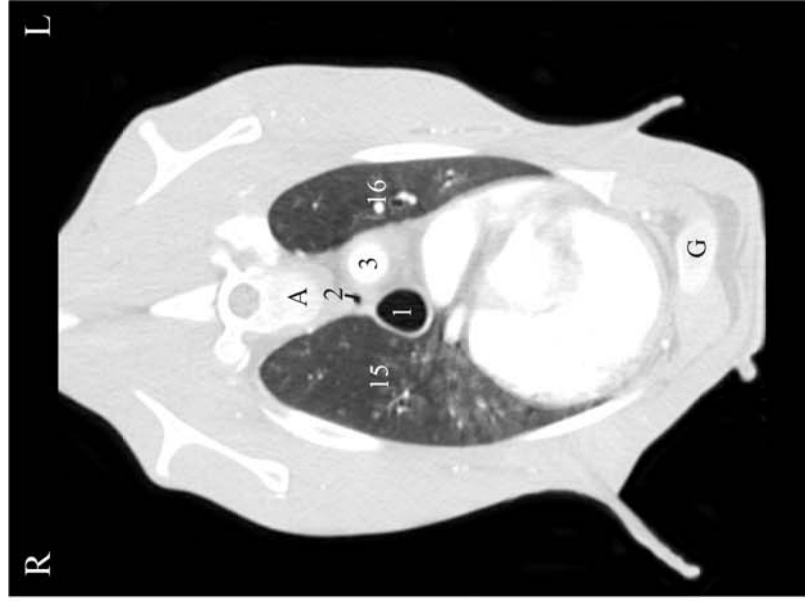
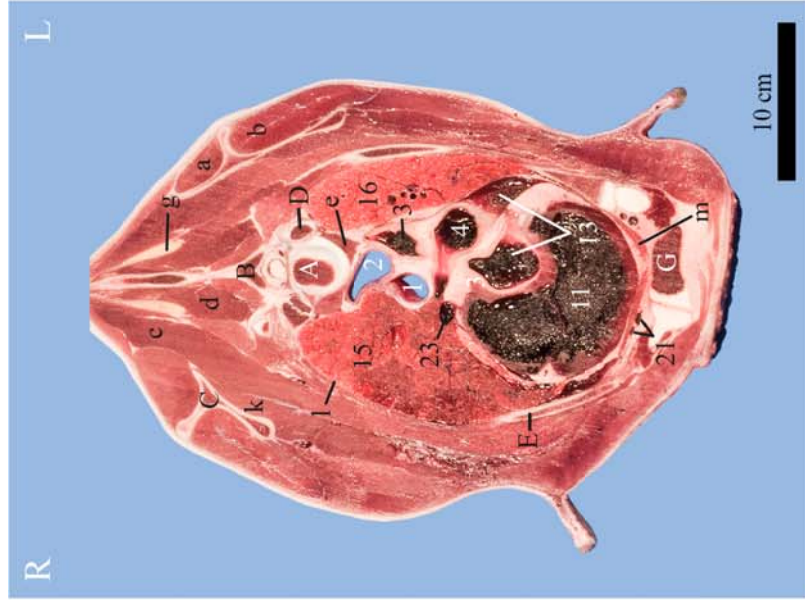
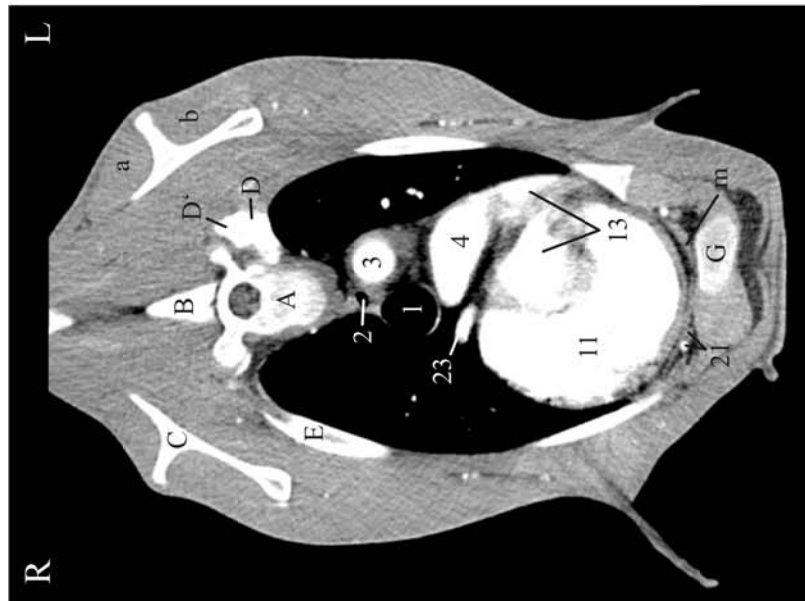


Abb. 18: Vergleich der Weichteil- und Lungenfenster mit dem anatomischen Schnitt auf Höhe des vierten Brustwirbels

A Vertebra thoracica, B Processus spinosus, D Caput costae, D' Tuberculum costae, E Costa, G Sternum
a M. supraspinatus, b M. infraspinatus, c M. rhomboideus thoracis, d M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis, e M. longus colli, g Lig. nuchae, k M. subscapularis, 1 Mm. intercostales, m M. transversus thoracis, 1 Trachea, 2 Oesophagus, 3 Aorta, 4 Truncus pulmonalis, 11 Ventriculus cordis dexter, 13 Atrium cordis sinistrum, 15 Lobus cranialis pulmonis sinistri, 16 Lobus cranialis pulmonis sinistri, 21 A. et V. thoracica interna, 23 A. pulmonalis dextra



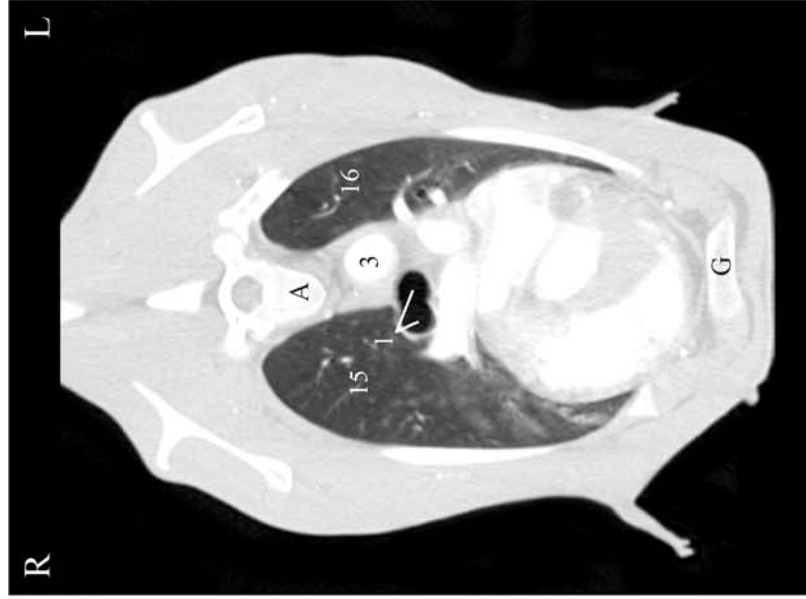
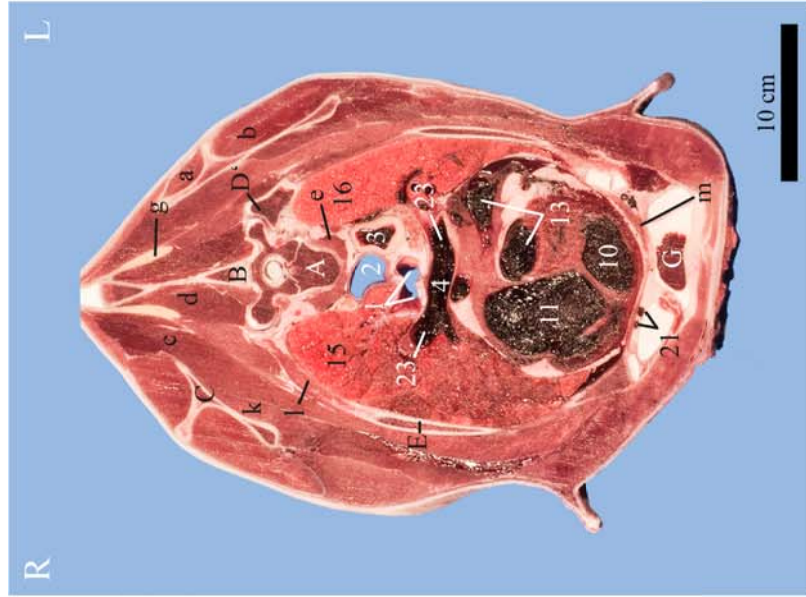
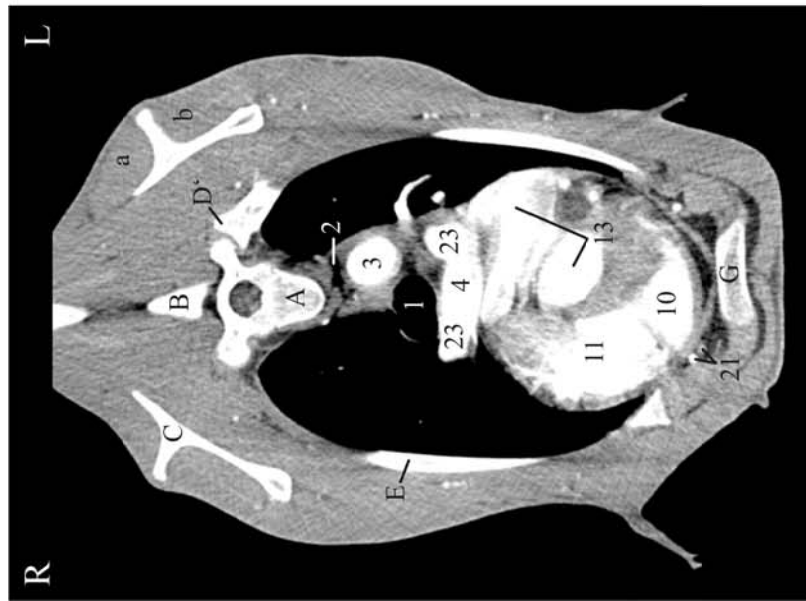


Abb. 19: Vergleich der Weichteil- und Lungenfenster mit dem anatomischen Schnitt zwischen dem vierten und fünften Brustwirbel

A Vertebra thoracica, B Processus spinosus, D' Tuberculum costae, E Costa, G Sternum
a M. supraspinatus, b M. infraspinatus, c M. rhomboideus thoracis, d M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis, e M. longus colli, g Lig. nuchae, k M. subscapularis, l Mm. intercostales, m M. transversus thoracis, 1 Trachea (Bifurkation), 2 Oesophagus, 3 Aorta, 4 Truncus pulmonalis, 10 Ventriculus cordis sinister, 11 Ventriculus cordis dexter, 13 Atrium cordis sinistrum, 15 Lobus cranialis pulmonis dextri, 16 Lobus cranialis pulmonis sinistri, 21 A. et V. thoracica interna, 23 A. pulmonalis dextra seu sinistra



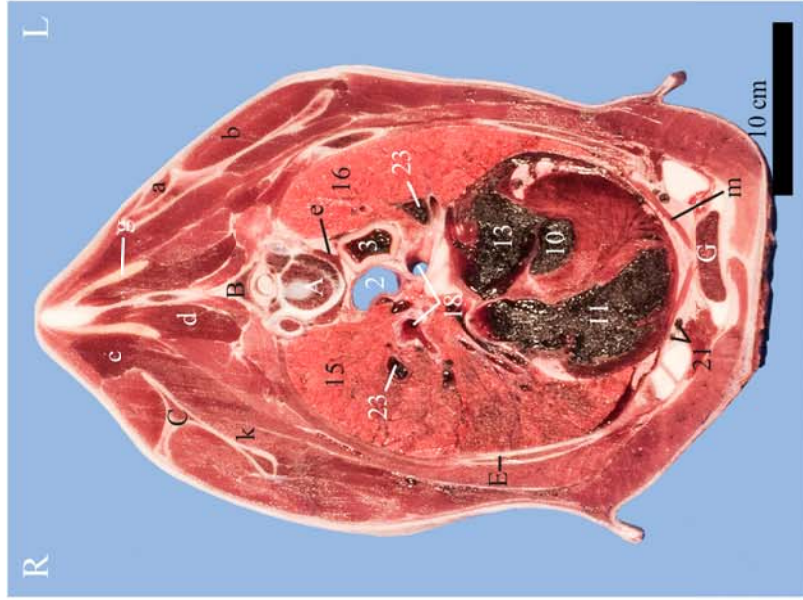


Abb. 20 Vergleich der Weichteil- und Lungenfenster mit dem anatomischen Schnitt auf Höhe des fünften Brustwirbels



A Vertebra thoracica, B Processus spinosus, D Caput costae, D' Tuberculum costae, E Costata, G Sternum
a M. supraspinatus, b M. infraspinatus, c M. rhomboideus thoracis, d M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis, e M. longus colli, g Lig. nuchae, k M. subscapularis, m M. transversus thoracis, 2 Oesophagus, 3 Aorta, 10 Ventriculus cordis sinister, 11 Ventriculus cordis dexter, 13 Atrium cordis sinisterum, 15 Lobus cranialis pulmonis dexteri, 16 Lobus cranialis pulmonis sinistri, 18 Bronchus principalis dexter et sinister, 21 A. et V. thoracica interna, 23 A. pulmonalis dextra seu sinistra

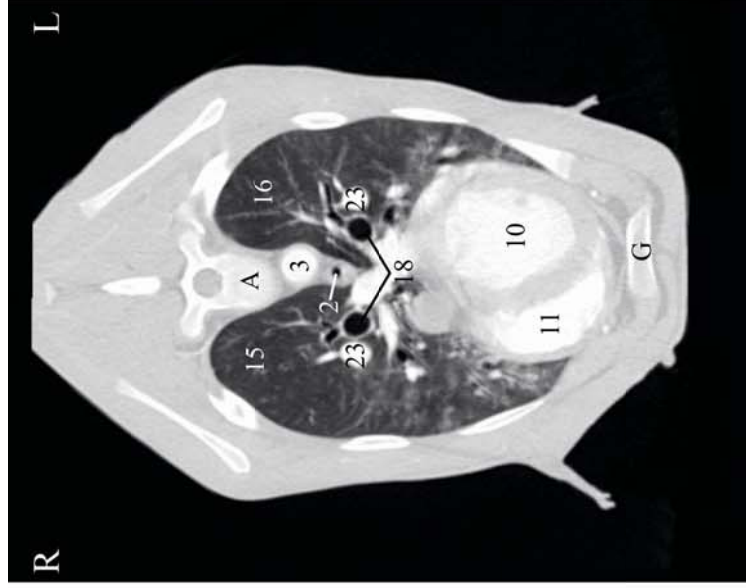
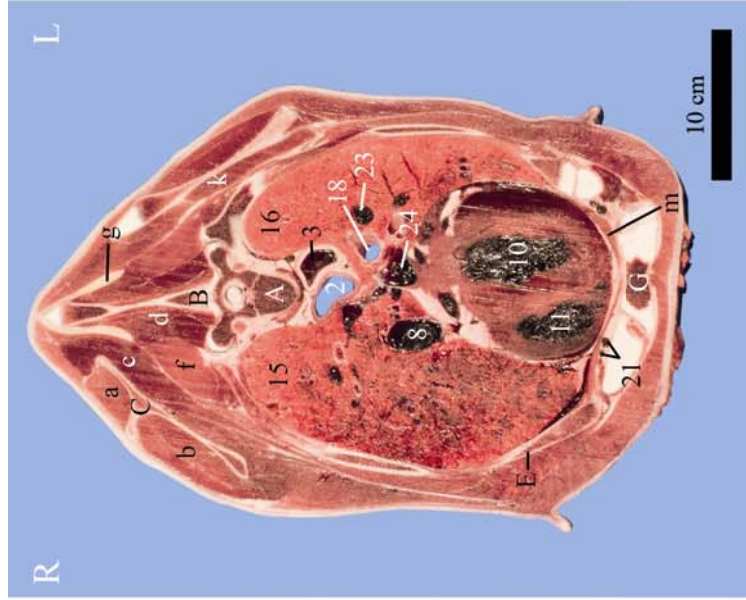


Abb. 21 Vergleich der Weichteil- und Lungenfenster mit dem anatomischen Schnitt auf Höhe des sechsten Brustwirbels

A Vertebra thoracica, B Processus spinosus, D Caput costae, D' Tuberculum costae, E Costa, G Sternum

a M. supraspinatus, b M. infraspinatus, c M. rhomboideus thoracis, d M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis, f M. longissimus thoracis, g Lig. nuchae, k M. subscapularis, m M. transversus thoracis, 2 Oesophagus, 3 Aorta, 8 V. cava caudalis, 10 Ventriculus cordis sinister, 11 Ventriculus cordis dexter, 15 Lobus caudalis pulmonis sinister, 16 Lobus caudalis pulmonis dexter, 18 Bronchus lobaris, 21 A. et V. thoracica interna, 23 A. pulmonalis dextra seu sinistra, 24 V. pulmonalis dextri seu sinistri



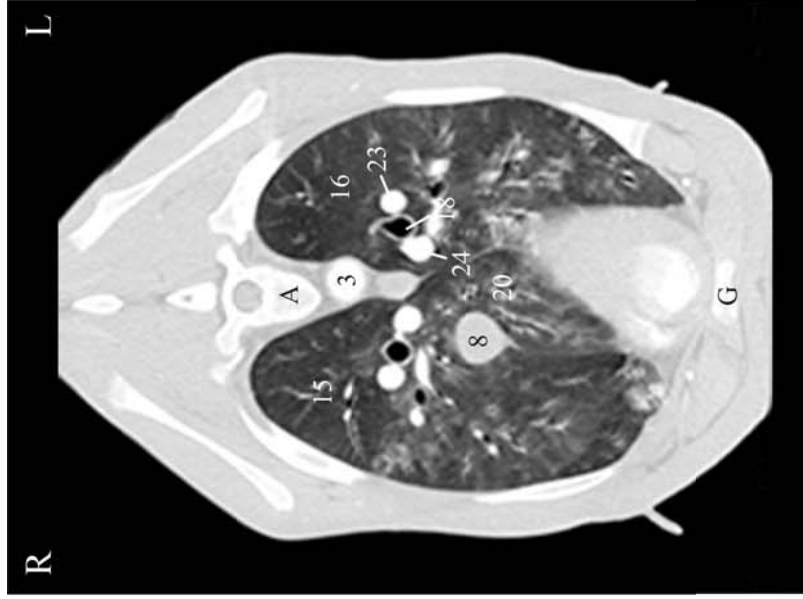
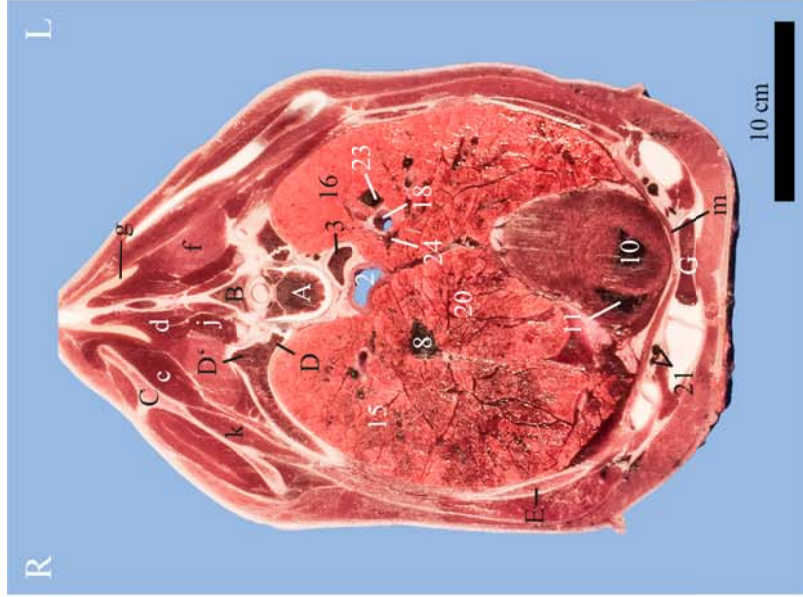


Abb. 22: Vergleich der Weichteil- und Lungenfenster mit dem anatomischen Schnitt auf Höhe des siebten Brustwirbels

A Vertebra thoracica, B Processus spinosus, D Caput costae, D' Tuberculum costae, E Costa, G Sternum

c M. rhomboideus thoracis, d M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis, f M. longissimus thoracis, g Lig. nuchae, j Mm. multifidi thoracis, k M. subscapularis, m M. transversus thoracis, 2 Oesophagus, 3 Aorta, 8 V. cava caudalis, 10 Ventriculus cordis sinister, 11 Ventriculus cordis dexter, 15 Lobus caudalis pulmonis dexteri, 16 Lobus caudalis pulmonis sinistri, 18 Bronchus lobaris, 20 Lobus accessorius pulmonis, 21 A. et V. thoracica interna, 23 Ramus a. pulmonalis lobi caudalis dexteri, 24 V. pulmonalis lobi caudalis sinistri



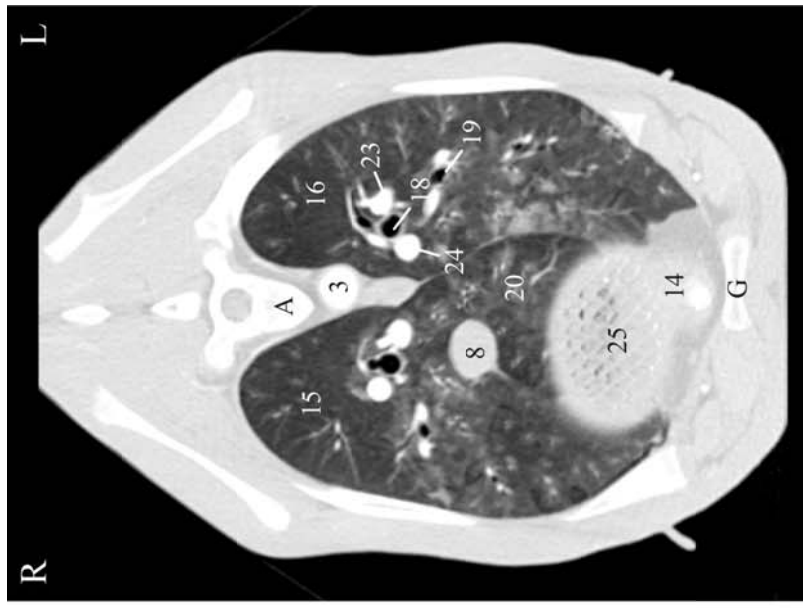
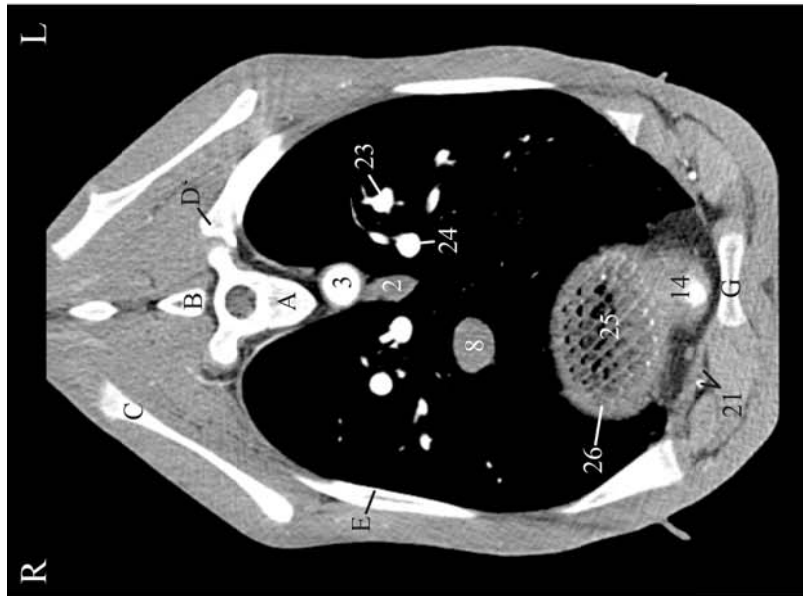


Abb. 23: Vergleich der Weichteil- und Lungenfenster mit dem anatomischen Schnitt auf Höhe des achten Brustwirbels



A Vertebra thoracica, B Processus spinosus, D Caput costae, D' Tuberculum costae, E Costata, F Cartilago costalis, G Sternum
 c M. rhomboideus thoracis, d M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis, f M. longissimus thoracis, g Lig. nuchae, j Mm. multifidi thoracis, k M. subscapularis, m M. transversus thoracis, 2 Oesophagus, 3 Aorta, 8 V. cava caudalis, 14 Apex cordis, 15 Lobus caudalis pulmonis dextri, 16 Lobus caudalis pulmonis sinistri, 18 Bronchus lobaris, 19 Bronchi segmentales, 20 Lobus accessorius pulmonis, 21 A. et V. thoracica interna, 23 Ramus a. pulmonalis lobi caudalis sinistri, 24 V. pulmonalis lobi caudalis sinistri, 25 Reticulum, 26 Hepar

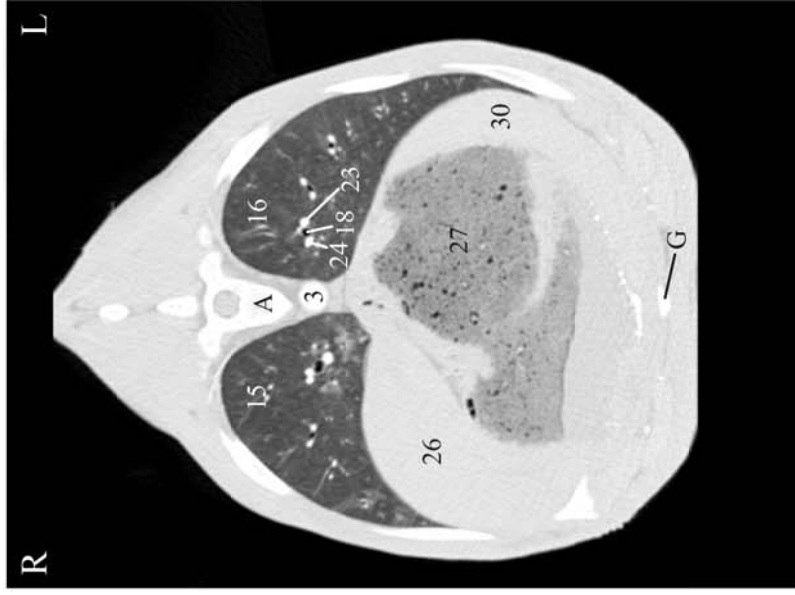
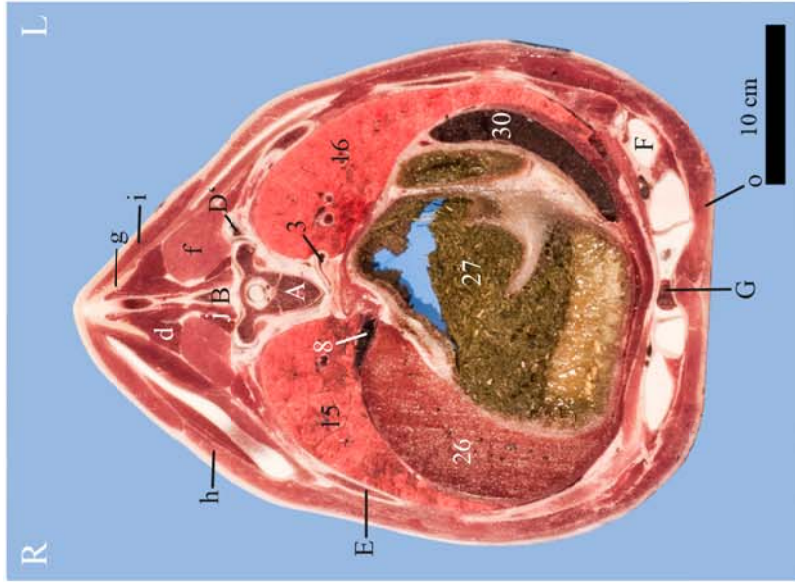
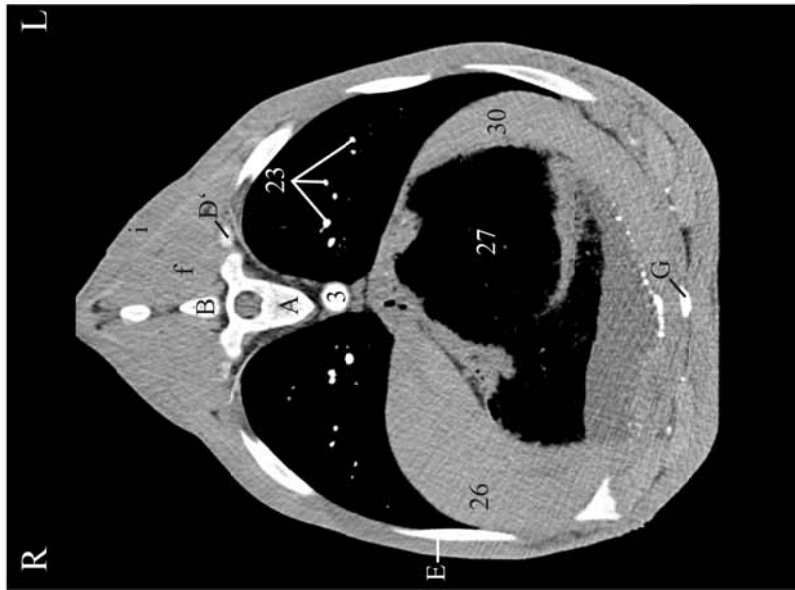


Abb. 24: Vergleich der Weichteil- und Lungenfenster mit dem anatomischen Schnitt auf Höhe des neunten Brustwirbels

A Vertebra thoracica, B Processus spinosus, D' Tuberculum costae, E Costa, F Cartilago costalis, G Sternum

c M. rhomboideus thoracis, d M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis, f M. longissimus thoracis, g Lig. nuchae, h M. latissimus dorsi, i M. trapezius, j Mm. multifidi thoracis, k M. subscapularis, m M. transversus thoracis, o M. pectoralis profundus, 3 Aorta, 8 V. cava caudalis, 14 Apex cordis, 15 Lobus caudalis pulmonis dextri, 16 Lobus caudalis pulmonis sinistri, 18 Bronchus lobaris, 23 Rami a. pulmonalis lobi caudalis dextri, 24 V. pulmonalis lobi caudalis sinistri, 26 Hepar, 27 Rumen, 30 Lien



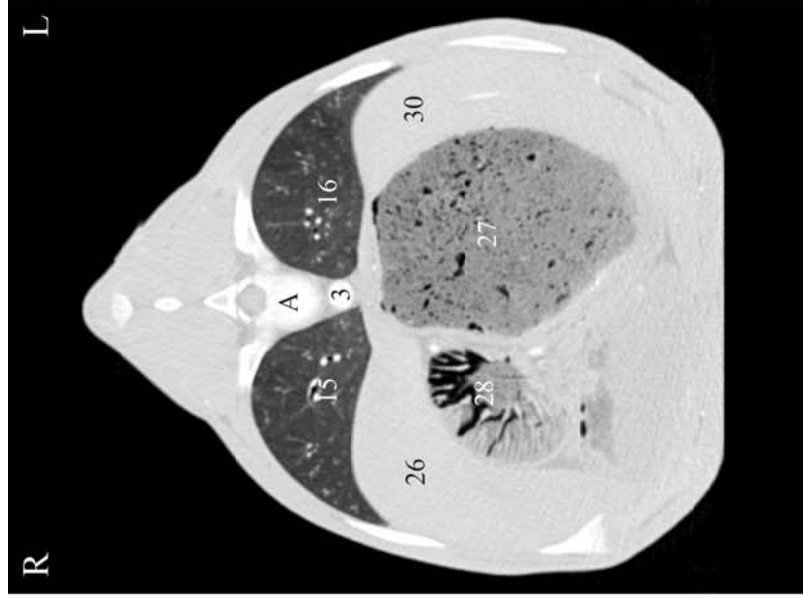
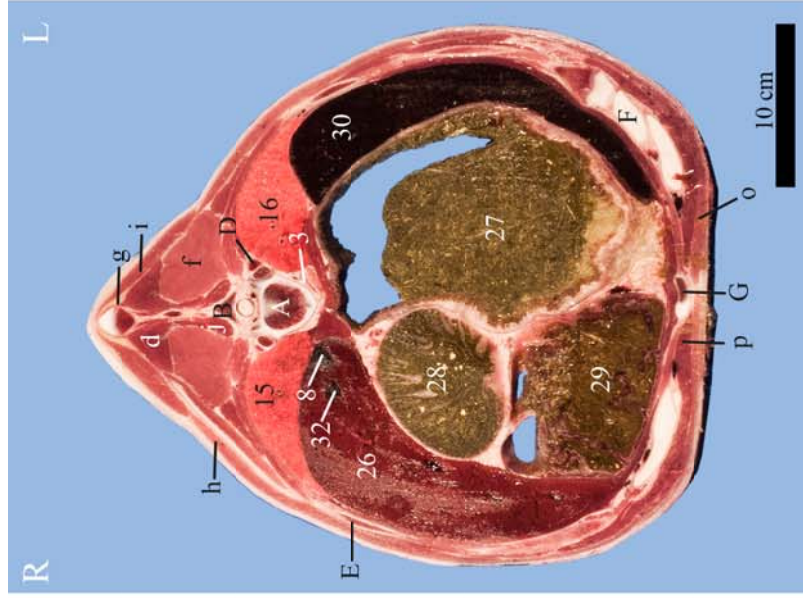
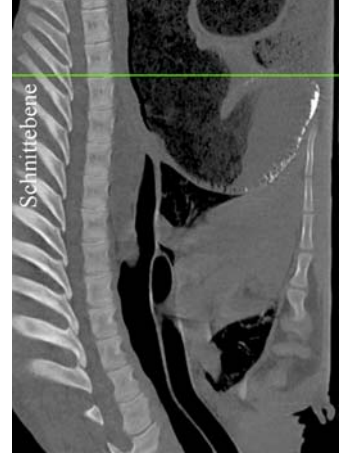


Abb. 25: Vergleich der Weichteil- und Lungenfenster mit dem anatomischen Schnitt zwischen dem zehnten und elften Brustwirbel

A Vertebra thoracica, B Processus spinosus, D Caput costae, E Costa, F Cartilago costalis, G Sternum
d M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis, f M. longissimus thoracis, g Lig. nuchae,
h M. latissimus dorsi, i M. trapezius, j Mm. multifidi thoracis, o M. pectoralis profundus,
p M. rectus abdominis, 3 Aorta, 8 V. cava caudalis, 15 Lobus caudalis pulmonis dextri,
16 Lobus caudalis pulmonis sinistri, 26 Hepar, 27 Rumen, 28 Omasum, 29 Abomasum,
30 Lien, 32 V. hepatica



6.5.3. Sagittalschnittanatomie des Thorax eines Kalbes

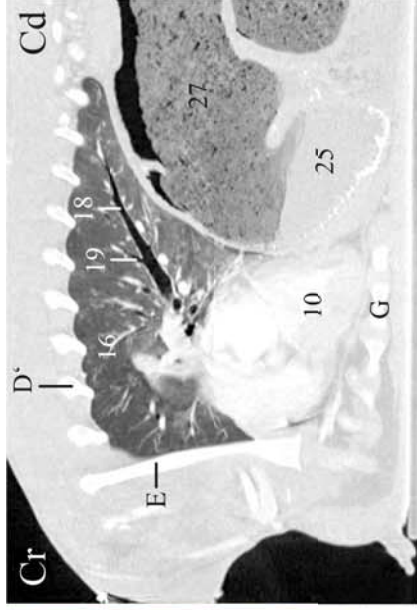
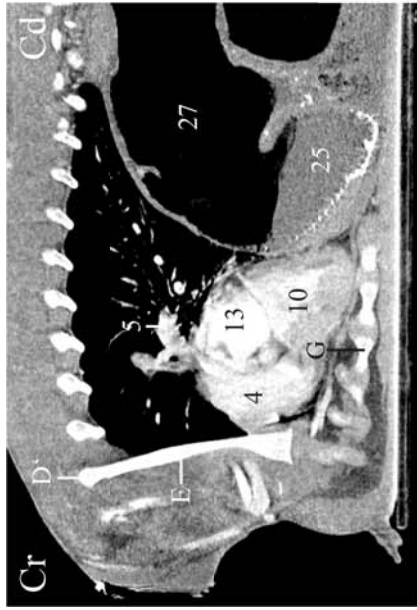
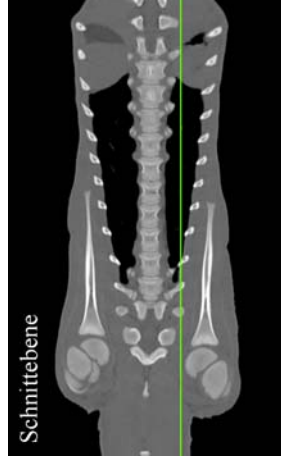


Abb. 26: Sagittalschnitt durch den Thorax eines 105 Tage alten HF-Kalbes links paramedian auf Höhe des Bronchus lobaris caudalis sinister

B Processus spinosus, D' Tuberculum costae, E Costa, G Sternum

4 Truncus pulmonalis, 5 Vv. pulmonales, 6 Truncus brachiocephalicus, 10 Ventriculus cordis sinister, 13 Atrium cordis sinister, 16 Lobus cranialis et caudalis pulmonis sinister, 18 Bronchus lobaris, 19 Bronchi segmentales, 25 Reticulum, 26 Hepar, 27 Rumen



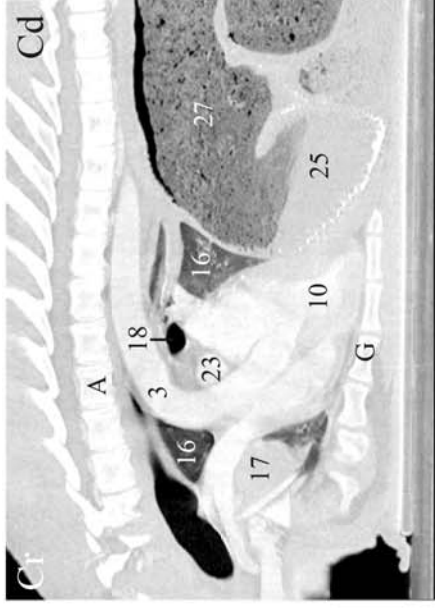
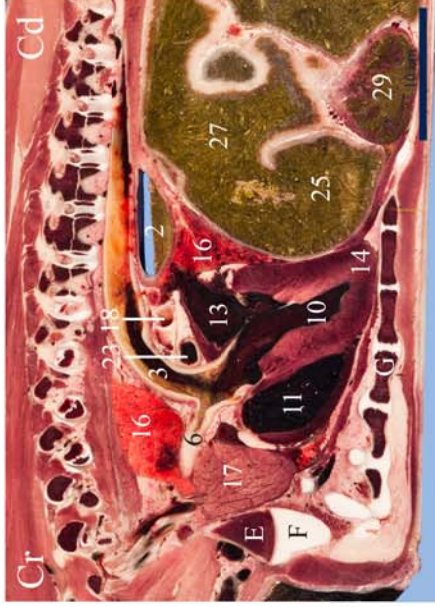
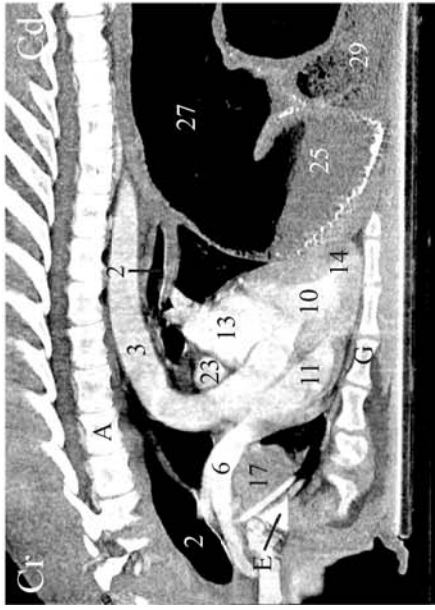
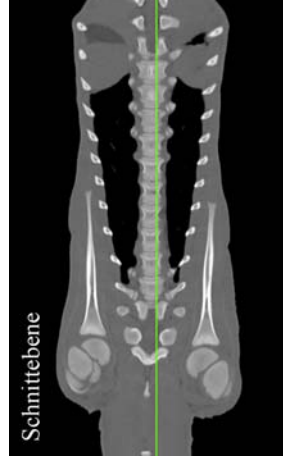


Abb. 27: Sagittalschnitt durch den Thorax eines 105 Tage alten HF-Kalbes links paramedian auf Höhe des Arcus aortae

A Vertebra thoracica, B Processus spinosus, E Costa, F Cartilago costalis, G Sternum
 2 Oesophagus, 3 Aorta, 6 Truncus brachiocephalicus, 10 Ventriculus cordis sinister, 11 Ventriculus cordis dexter, 13 Atrium cordis sinistrum, 14 Apex cordis, 16 Lobus cranialis et caudalis pulmonis sinistri, 17 Thymus, 18 Bronchus lobaris, 23 A. pulmonalis sinistra, 25 Reticulum, 27 Rumen, 29 Abomasum



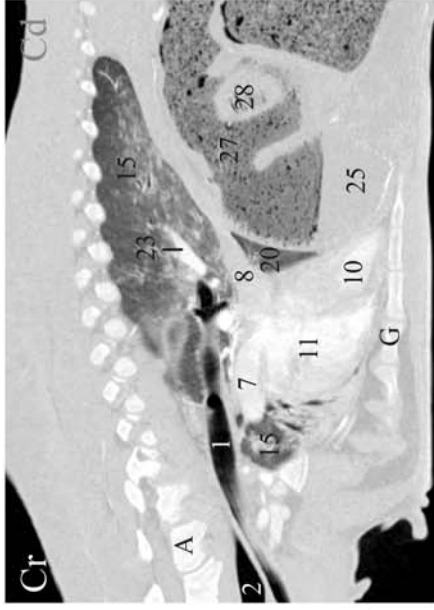
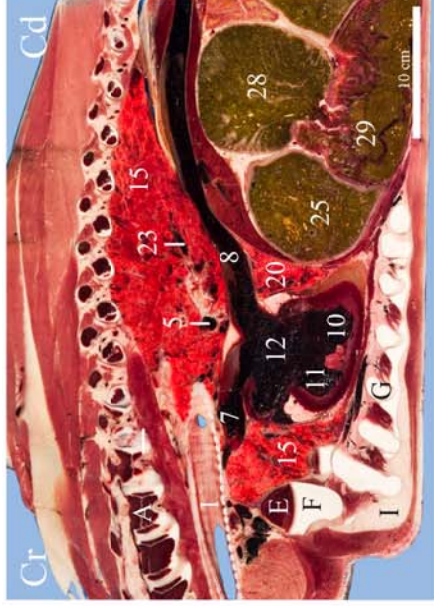
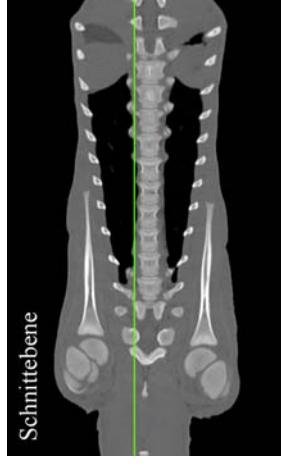


Abb. 28: Sagittalschnitt durch den Thorax eines 105 Tage alten HF-Kalbes rechts paramedian auf Höhe der V. cava caudalis

A Vertebra thoracica, E Costa, F Cartilago costalis, G Sternum

1 Trachea, 2 Oesophagus, 5 Vv. pulmonales, 7 V. cava cranialis, 8 V. cava caudalis, 10 Ventriculus cordis dexter, 11 Ventriculus cordis sinister, 12 Atrium cordis dexter, 15 Lobus cranialis et caudalis pulmonis dextri, 20 Lobus accessorius, 23 Ramus a. pulmonalis lobi caudalis dextri, 25 Reticulum, 28 Omasum, 29 Abomasum



6.5.4. Dorsalschnittanatomie des Thorax eines Kalbes

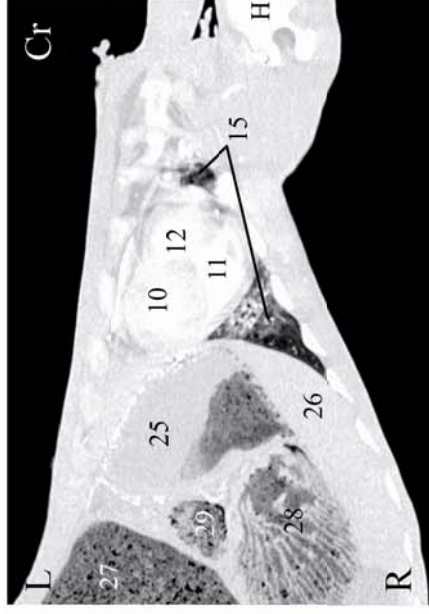
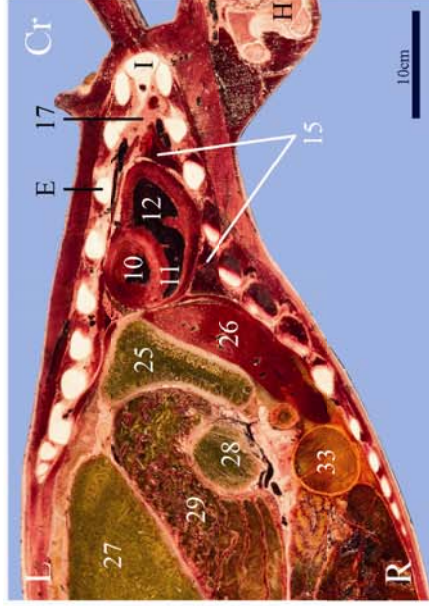
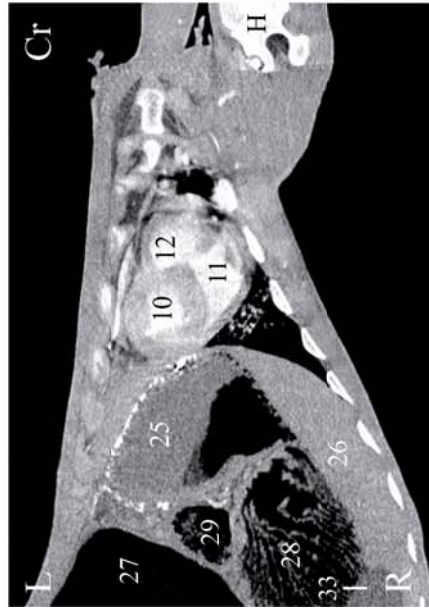


Abb. 29: Dorsalschnitt durch den Thorax eines 105 Tage alten HF-Kalbes auf der Höhe des Manubrium sterni

E Costa, H Humerus, I Manubrium sterni

10 Ventriculus cordis sinister, 11 Ventriculus cordis dextrum,

15 Lobus cranialis et caudalis pulmonis dextri, 17 Thymus, 25 Reticulum, 26 Hepar, 27 Rumen, 28 Omasum, 29 Abomasum, 33 Vesica fellea



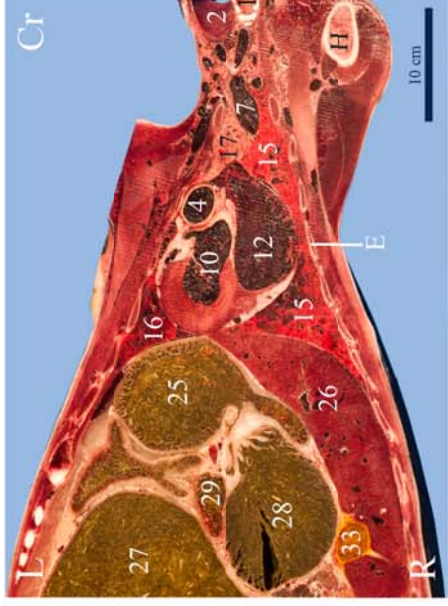
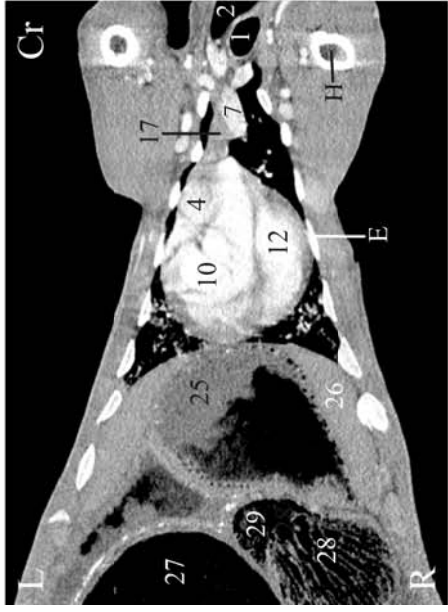
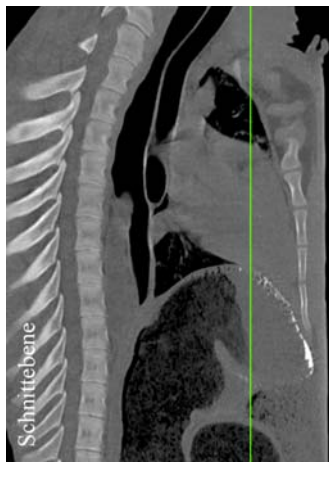


Abb. 30: Dorsalschnitt des Thorax eines 105 Tage alten HF-Kalbes auf der Höhe des linken Herzventrikels

E Costa, H Humerus

- 1 Trachea, 2 Oesophagus, 4 Truncus pulmonalis, 7 V. cava cranialis, 10 Ventriculus cordis sinister, 12 Atrium cordis dextrum, 15 Lobus cranialis et caudalis pulmonis dextri, 16 Lobus caudalis pulmonis sinistri, 17 Thymus, 25 Reticulum, 26 Hepar, 27 Rumen, 28 Omasum, 29 Abomasum, 33 Vesica fellea



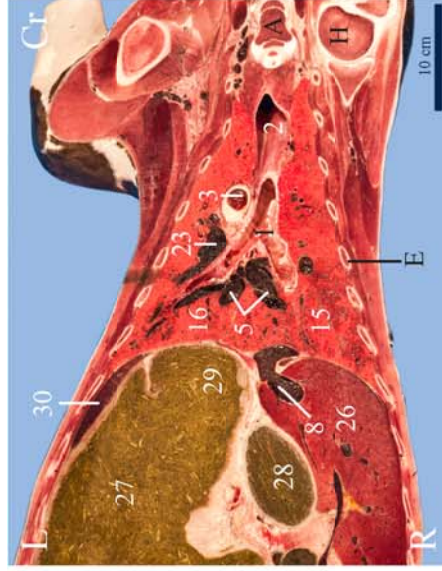
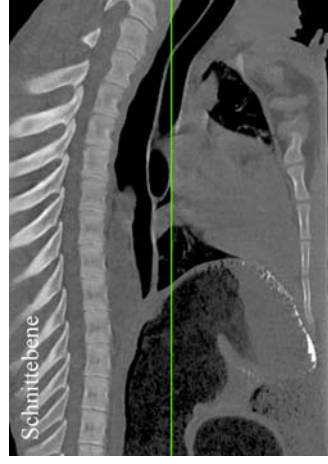


Abb. 31: Dorsalschnitt durch den Thorax eines 105 Tage alten HF-Kalbes auf der Höhe der Bifurkation

A Vertebra thoracica, E Costa, H Humerus

1 Trachea (Bifurkation), 2 Oesophagus, 3 Aorta 5 Vv. pulmonales, 8 V. cava caudalis, 15 Lobus cranialis et caudalis pulmonis dextri, 16 Lobus cranialis et caudalis pulmonis sinistri, 26 Hepar, 27 Rumen, 28 Omasum, 29 Abomasum, 30 Lien



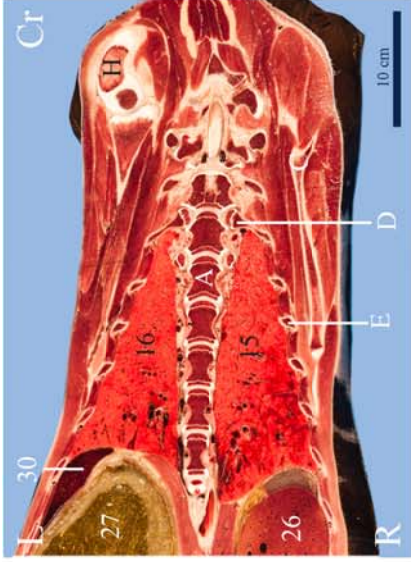
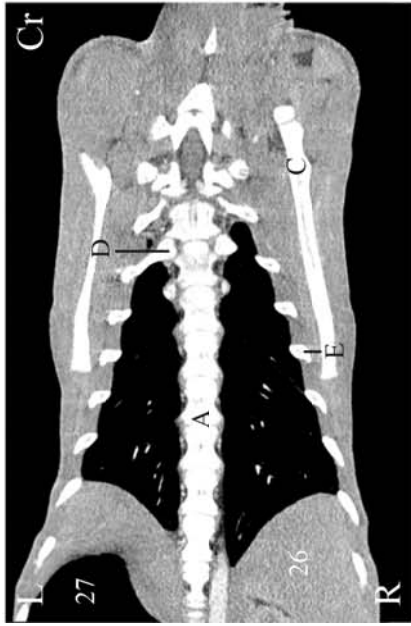


Abb. 32: Dorsalschnitt durch den Thorax eines 105 Tage alten HF-Kalbes auf der Höhe der Brustwirbelsäule

A Vertebra thoracica, C Scapula, D Caput costae, E Costa, H Humerus
 15 Lobus cranialis et caudalis pulmonis dextri, 16 Lobus cranialis et caudalis pulmonis sinistri, 26 Hepar, 27 Rumen, 30 Lien



7. Diskussion

7.1. CT-Befunde

Ein Hauptziel der vorliegenden Dissertation war es, die normalen Strukturen des Kälberthorax in Abhängigkeit vom Alter auf dem nativen CT-Bild und nach der Anwendung von Kontrastmittel zu identifizieren und ihre Lage zu beschreiben. Ferner bestand ein Ziel darin, Normalwerte für die Grösse diverser thorakaler Strukturen zu erheben. Das Vorgehen erfolgte in enger Anlehnung an entsprechende CT-Untersuchungen bei der Ziege (ALSAFY, 2008; BECKER-BIRCK, 2009; OHLERTH et al., 2010) und an etablierte radiologische und computertomographische Methoden bei Mensch, Hund und Katze (HASKIN und GOODMAN, 1982; McNAMARA et al., 1992; MURRAY et al., 1995; WOOD et al., 1995; LEHMKUHL et al., 1997; KARABULUT, 2005). Für eine möglichst exakte Vermessung der intrathorakalen Strukturen wurde jede Untersuchung des Thorax der Kälber zur Minimierung von Bewegungsartefakten in Vollnarkose und in maximaler Inspiration durchgeführt. Im Weiteren wurden gravierende kongenitale Herzerkrankungen im Vorfeld durch eine echokardiographische Untersuchung ausgeschlossen und die Verabreichung von stark kreislaufwirksamen Narkotika vermieden (EBERT et al., 2007). Unglücklicherweise erkrankten im Verlauf der Untersuchungen alle Kälber an einer gering bis hochgradigen Bronchopneumonie, was die Extrapolation von Normalwerten in grösserem Masse einschränkte, aber aufgrund der Häufigkeit von Atemwegserkrankungen (RADEMACHER, 2007) bei Kälbern annähernd die realen Praxisbedingungen widerspiegelt. Zusammenfassend war die Übertragung der Messungen sehr gut durchführbar und möglicherweise durch die überlagerungsfreien Schnittbilder auch exakter als die Messungen im Röntgenbild. Um die trotz gleicher Rasse und gleichem Geschlecht aufgetretenen Gewichts- und Grössenunterschiede zu eliminieren, wurden Grössenverhältnisse berechnet.

7.1.1. Knochenfenster

Ausgehend von der Anatomie des adulten Rindes konnten die knöchernen Strukturen des Kälberthorax überlagerungsfrei und im Detail beurteilt werden. So waren die Wirbelsäule mit den Dornfortsätzen, dem Wirbelkanal und den Gefässkanälchen, die Rippen, das Sternum mit den einzelnen Sternebrae, das Manubrium sterni und der Processus xiphoideus sowie Anteile der Schulterblätter und der beiden Humeri bei allen Kälbern zu jedem Untersuchungszeitpunkt deutlich erkennbar. Durch die Messungen im Knochenfenster konnte eine Vorstellung über die Größenverhältnisse und über das Wachstum des knöchernen Thorax für einen begrenzten Zeitraum von der Geburt bis zum 105. Lebenstag gewonnen werden. Obwohl dabei die Thoraxhöhe und -breite zwischen den einzelnen Kälbern deutlich variierte, änderte sich das Verhältnis der Tracheahöhe zur Höhe des Thoraxeingangs bei den einzelnen Kälbern im Verlauf der Untersuchungen nicht signifikant und entsprach mit durchschnittlich 0.2 ± 0.03 dem Normalwert von gesunden nicht-brachiozephalen Hunden (HARVEY et al., 1982).

7.1.2. Weichteilfenster

Das Herz der Kälber wurde in seiner Lage und Ausdehnung im Zeitraum von der Geburt bis zum Alter von 105 Lebenstagen erfasst. Das Herz des Kalbes passt sich wie bei allen Haussäugetieren dem bilateral abgeflachten Brustkorb an und ist um etwa 90 Grad um seine Längsachse gedreht (SCHUMMER und HABERMEHL, 1996). Zum Zeitpunkt der Geburt liegt es in dem noch sehr abgeflacht erscheinenden Brustkorb entlang der Längsachse beinahe komplett dem Sternum auf. Mit dem Grössenwachstum der Tiere und vermutlich mit dem Einsetzen der Vormagenentwicklung, insbesondere mit dem Wachstum von Pansen und Haube und der damit verbundenen Vorwölbung des Zwerchfells in die Brusthöhle, kommt es zur Aufrichtung des Herzens und zur Verlagerung der Herzgrenzen nach kranial. Einschränkung für die genaue Beurteilung der Lage und Ausdehnung des Herzens muss jedoch die Sternallage der Tiere während der Untersuchung berücksichtigt

werden. In Bezug auf die Ausdehnung darf das normale Herz im dorsoventralen Röntgenbild beim Kleintier an seiner breitesten Stelle nicht mehr als 60 - 65 % des Thorax einnehmen (OWENS und BIERY, 1998). Im Gegensatz dazu scheint das Herz des Kalbes subjektiv mit seiner Ausdehnung von der linken bis annähernd an die rechte Thoraxwand deutlich breiter zu sein und entspricht in dieser Beziehung eher dem Ziegenherz (BECKER-BIRCK, 2009). Der Quotient aus dem Durchmesser der V. cava caudalis (caudal vena cava, CVC) und der Länge des Brustwirbels über der Tracheabifurkation (vertebral length, VL) sowie der Quotient aus dem Durchmesser der V. cava caudalis und dem Durchmesser der Aorta (Ao) waren ausgenommen von der ersten CT-Untersuchung sehr ähnlich zu den normalen im Röntgenbild ermittelten Werten beim Hund. Die Werte der ersten Untersuchung waren mit 0.8 ± 0.11 für das Verhältnis CVC/VL bzw. 1.2 ± 0.14 für CVC/Ao signifikant höher als bei den übrigen Untersuchungen. Für den Hund wurden Quotienten von < 0.80 für CVC/VL und von < 1.00 für CVC/Ao als obere Normalwerte angegeben (LEHMKUHL et al., 1997). Deutlich höhere Werte wurden in Verbindung mit einer Rechtsherzinsuffizienz gebracht. Da bei den hier untersuchten Kälbern mittels echokardiographischer Untersuchung eine Rechtsherzinsuffizienz ausgeschlossen wurde, könnten die höheren Werte bei der ersten CT-Untersuchung auf eine leichtgradig gestaute V. cava caudalis, bedingt durch die vorangegangene Umstellung vom Embryonal- auf den Lungenkreislauf zurückzuführen sein. Die bei der ersten Untersuchung unmittelbar nach der Geburt signifikant ($P < 0.01$) grösseren Durchmesser der Lungengefäße in den kaudalen Lungenlappen im Vergleich zur zweiten Untersuchung könnten ebenfalls auf eine Stauung aufgrund dem von LINKE (2009) beschriebenen, postnatalen protrahierten Verlauf der Lungenentfaltung beim Kalb und dem damit verbundenen noch bestehenden höheren intrapulmonalen Druck zurückgeführt werden. Die vertebrale Herzgrösse wurde in der vorliegenden Studie, in enger Anlehnung an die Kleintiermedizin, zum ersten Mal im CT-Bild des Kalbes bestimmt. Das Ergebnis lag mit durchschnittlich 9.3 ± 0.30 Brustwirbelkörperlängen bei der ersten Untersu-

chung und 8.2 ± 0.27 Brustwirbelkörperlängen am 105. Lebenstag genau zwischen den für die Katze und den Hund im Röntgenbild ermittelten Normalwerten (BUCHANAN, 2000). Für die adulte Ziege wird eine ähnliche vertebrale Herzgrösse von 8.0 ± 0.40 Brustwirbelkörperlängen angegeben (OHLERTH et al., 2010). In Röntgenaufnahmen wurde die Anwendbarkeit der vertebralen Herzgrösse beim Kalb für die Diagnostik einer pathologischen Herzvergrösserung bereits bestätigt und ein diagnostischer Cut-Off-Wert von 8.9 Brustwirbelkörperlängen für das Alter von 25 ± 10 Tagen angegeben (SUZUKI et al., 2012). Die in der vorliegenden Studie auffällige Abnahme der vertebralen Herzgrösse im Untersuchungsverlauf um durchschnittlich mehr als eine Brustwirbelkörperlänge erklärt sich vermutlich mit dem physiologischen verhältnismässig stärkeren Wachstum der knöchernen Strukturen und beweist, dass ein adultes Rind ein sowohl absolut als auch relativ kleines Herz besitzt (SCHUMMER und HABERMEHL, 1996). Bei der Beschreibung der sichtbaren Strukturen im Weichteilfenster hängt die Darstellbarkeit einer anatomischen Struktur immer von seinem Abschwächungskoeffizienten und dem der umliegenden Strukturen ab. Die Anwendung von Kontrastmittel im Anschluss an die Nativstudien ermöglichte, neben der besseren Beurteilung des Herzens und der Gefässe auch die intrathorakalen Lymphknoten sowie den Brustteil des Thymus der Kälber sicher zu identifizieren. Nichtsdestotrotz war eine genaue Abgrenzung der Lymphknoten, insbesondere im Bereich der Herzbasis und der Tracheabifurkation, aufgrund der teilweisen Einbettung in das umliegende intrathorakale Weichteilgewebe nicht immer möglich. Die in fast allen Fällen verbesserte Abgrenzbarkeit der Lymphknoten ab der dritten Untersuchung ist vermutlich auf das relative, dem Körpergewicht entsprechende Grössenwachstum der Lymphknoten zurückzuführen. Aufgrund der Lungensymptomatik der Kälber im Verlauf der Untersuchungen wäre allerdings auch eine reaktive Vergrösserung der Lymphknoten durch eine Bronchopneumonie denkbar.

7.1.3. Lungenfenster

Für die Vermessung der luftleitenden Wege sowie für die Beurteilung des Lungenparenchyms und der Pleura erwies sich die Computertomographie beim Kalb als sehr sensibles und exaktes Verfahren. Hinsichtlich der Genauigkeit der Messungen waren die Bronchien durch die CT-Aufnahme in maximaler Inspiration scharf umrandet und deutlich voneinander abgrenzbar. Daher empfiehlt es sich, eine CT-Studie des Thorax standardisiert während angehaltener Inspiration und für bestimmte Diagnosen auch in Expiration durchzuführen. Auch die zuvor erwähnten pathologischen Lungenveränderungen liessen sich problemlos, entsprechend dem Klassifizierungssystem aus der Humanmedizin (JACOBI und THALHAMMER, 2006) bzw. dem darauf basierenden Schema für den Hund (JOHNSON et al., 2004), den 4 pathologischen Grundmustern zuordnen und die Lokalisation sowie das Ausmass der Veränderungen genau bestimmen. Da nach McLAUGHLIN et al. (1962) bereits die gesunde Kälberlunge, anders als diejenige des Hundes, über eine verhältnismässig dicke Pleura und ein ausgeprägtes interlobuläres Bindegewebe verfügt, dürfen eine deutlich sichtbare Pleura und eine ausgeprägte Lappchenzeichnung jedoch nicht fehlinterpretiert werden. Die Kälber zeigten im CT-Bild vorwiegend ein Muster, das in der Humanmedizin bei akuten viralen oder bakteriellen Infektionen beschrieben (COLLINS, 2001) und vermutlich am ehesten auf die unterschiedlichen Krankheitsstadien einer enzootischen Bronchopneumonie zurückzuführen ist. Bei der enzootischen Bronchopneumonie handelt es sich um eine klassische Faktorenkrankheit, die zu bestandsweise gehäuft auftretender fieberhafter Entzündung der Bronchien, des Lungengewebes und der Pleura führen kann. Neben unbelebten endogenen und exogenen Faktoren, die zu einer Schwächung des Immunsystems führen, wird die Beteiligung von Viren (u. a. Parainfluenza-3-Viren, BRS-Viren, bovine Adeno-, Rheo- und Rhinoviren sowie Bakterien (u. a. Mykoplasmen, *Mannheimia haemolytica* und *Pasteurella multocida*, *Histophilus somni*, *Tueperella pyogenes*), Pilzen oder Parasiten am Krankheitsgeschehen beschrieben (DIRKSEN et al., 2006). Dass bereits Kälber

ohne vorangegangene klinische Symptomatik gering- bis leichtgradige Lungenveränderungen aufwiesen, spricht für die hohe Sensitivität dieser Untersuchungsmethode und zeigt eine Möglichkeit der für den Behandlungserfolg so wichtigen Früherkennung. Einschränkend müssen jedoch lagerungsbedingte Veränderungen, wie die in dieser Studie durch die Sternallage aufgetretenen Atelektasen im ventralen Lungenbereich, berücksichtigt werden. Die Atelektasen und milchglasartigen Verschattungen bei der ersten Untersuchung unmittelbar nach der Geburt könnten zusätzlich durch ein noch nicht vollständig belüftetes Lungengewebe verursacht worden sein. Nach BOSTEDT et al. (2009) kann die komplette Entfaltung der Lunge bis zu 2 Wochen post natum in Anspruch nehmen. Sie erfolgt von kranial nach kaudal und von dorsal nach ventral, was die Konzentrierung der Veränderungen auf die ventralen zwei Drittel der kaudalen Lungenlappen erklären würde. Eine infektiöse Ursache bei der ersten Untersuchung wird in der vorliegenden Studie aufgrund der klinisch als gesund eingestuften Kälber als unwahrscheinlich angesehen, obwohl Studien am Kalb belegen, dass 24 Stunden nach Infektion mit *Mannheimia haemolytica* bereits Veränderungen im CT der Lunge gesehen werden können (LUBBERS et al., 2007). Die mittlere Lungendichte der hier untersuchten Kälber variierte sehr stark und lag zwischen -780.0 und -496.5 Hounsfield-Einheiten. Beim gesunden Hund liegt die Lungendichte je nach Lungenlappen zwischen -854.55 und -830.75 HU (MORANDI et al., 2003) und beim Menschen zwischen -875 und -770 HU (JACOBI und THALHAMMER, 2006). Demzufolge liegt die maximale Lungendichte der untersuchten Kälber deutlich über derjenigen des Menschen und des Hundes, was auf die zuvor erwähnten Lungenveränderungen zurückzuführen ist. Sie entspricht dabei in etwa den für die Ziege mit klinisch inapparenten Lungenveränderungen angegebenen Werten von -850.8 bis -590.7 HU (OHLERTH et al., 2010). Der von OHLERTH et al. (2010) vermutete Einfluss einer asymmetrischen Ventilation durch den Bronchus trachealis auf die Stammbronchienwandfläche, den Stammbronchiendurchmesser und die Lungendichte im rechten Hemithorax konnte beim Kalb nicht bestätigt werden. Während

sich bei der Ziege signifikant höhere Werte im linken Hemithorax zeigten, waren die gemessenen Parameter für die rechte und linke Lungenhälfte beim Kalb nicht signifikant unterschiedlich.

7.2. Vergleich der CT-Befunde mit den anatomischen Schnittpräparaten

Die anatomischen Schnittbilder eigneten sich sehr gut zum direkten Vergleich mit den CT-Bildern, da Organe, Gefäße, Lymphknoten und Muskeln am besten auf ihnen erkannt und so anschliessend im CT-Bild identifiziert werden konnten. Eine genaue Abgrenzbarkeit der Strukturen im CT-Bild war allerdings trotz der Anwendung von Kontrastmittel nicht immer möglich. Die vergleichende Gegenüberstellung von CT-Bildern und den entsprechenden anatomischen Schnittbildern wurde bislang für eine Tierart aus der Gruppe der Wiederkäuer nur bei der Ziege beschrieben (ALSAFY, 2008; BECKER-BIRCK, 2009). Mit der vorliegenden Studie wurde somit erstmals ein vergleichender Bildatlas zur normalen computertomographischen Querschnittanatomie des Thorax des Kalbes erstellt.

7.3. Schlussbemerkungen

Hinsichtlich der Anwendbarkeit der Ergebnisse wird von einer vermehrten Verfügbarkeit der Computertomographie ausgegangen. Die CT stellt ein hoch sensitives Diagnostikum dar und ermöglicht die Abklärung von intrathorakalen Läsionen, wenn die röntgenologischen Befunde unspezifisch oder negativ sind (PRATHER et al., 2005). Nichtsdestotrotz bleibt die Anwendung beim Kalb oder allgemein beim Nutztier aufgrund der sehr hohen Untersuchungskosten wohl vorerst immer noch auf Ausnahmefälle und besonders wertvolle Tiere beschränkt. Bei der Planung einer computertomographischen Untersuchung beim Kalb sollten unbedingt die Körperabmessungen, die nicht zwangsläufig mit dem Körpergewicht korrelieren (BECKER et al., 2010), berücksichtigt werden. Abgesehen von Handlingsschwierigkeiten stellten Kälber mit einem Körpergewicht von > 160 kg in der vorliegenden Studie beinahe die Obergrenze dar, um sie mit einem Computerto-

mographien mit einer Öffnung von 82 cm Durchmesser zu untersuchen. Weiter sollten bei der CT-Diagnostik natürlich auch das Narkoserisiko und der Stress für das Tier berücksichtigt werden. Speziell bei der Lungendiagnostik sollten die negativen Auswirkungen auf die ohnehin meist schon vorgeschädigten Lungen abgewogen werden. Einen denkbaren und wünschenswerten Anwendungsbereich der Computertomographie beim Kalb oder allgemein beim Nutztier könnte in der Bestandesdiagnostik liegen. Hier könnten mittels CT pathomorphologische Lungenveränderungen erkannt und so die Indikation für eine Euthanasie von Tieren zwecks Sektion eliminiert werden. Die hier erarbeitete Querschnittanatomie und die angegebenen Grössenverhältnisse der anatomischen Strukturen des Kälberthorax sowie der Ausblick über die problemlose Klassifizierung von pathologischen Lungenveränderungen sollen dafür die erste Voraussetzung liefern und in weiteren Studien als Vergleich dienen.

8. Literaturverzeichnis

ADAMS, F. H., H. LATTA, A. EL-SALAWY and M. NOZAKI (1969): The expanded lung of the term fetus. *J. Pediatr.* 75, 59-66.

ADAMSON, T. M., R. D. H. BOYD, H. S. PLATT and L. B. STRANG (1969): Composition of alveolar liquid in the foetal lamb. *J. Physiol.* 204, 159-168.

ADOLF, J. E., N. L. DYKES, S. SEMEVOLOS and T. J. DIVERS (2001): The diagnosis and treatment of a thoracic abscess in an alpaca. *Aust. Vet. J.* 79, 675-679.

ALSAFY, M. A. M. (2008): Computed tomography and cross-sectional anatomy of the thorax of goat. *Small Ruminant Res.* 79, 158-166.

ASSHEUER, J. and M. SAGER (2003): MRI and CT Atlas of the Dog, Eds. J. Assheuer, M. Sager, Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschaftsverlag, 315-338.

AU, J. J., D. L. WEISMAN, J. D. STEFANACCI and M. P. PALMISANO (2006): Use of computed tomography for evaluation of lung lesions associated with spontaneous pneumothorax in dogs: 12 cases (1999-2002). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 228, 733-737.

AWAI, K. and S. HORI (2003): Effect of contrast injection protocol with dose tailored to patient weight and fixed injection duration on aortic and hepatic enhancement at multidetector-row helical CT. *Eur. Radiol.* 13, 2155-2160.

BAE, K. T. (2010): Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: considerations and approaches. *Radiology* 256, 32-61.

BALLARD, P. L. and R. A. BALLARD (1995): Scientific basis and therapeutic regimens for use of antenatal glucocorticoids. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 173, 254-262.

BECKER-BIRCK, M. (2009): Computertomographische Untersuchung des Thorax bei 30 Ziegen. Dissertation, Universität Zürich.

BECKER, M., C. HEUN, G. TSOUSIS and H. BOLLWEIN (2010): Application of computed tomography for the evaluation of obstetrically relevant measurements in German Holstein-Friesian calves. *Theriogenology* 75, 1052-1056.

BLEUL, U., B. LEJEUNE, S. SCHWANTAG and W. KÄHN (2007): Blood gas and acid-base analysis of arterial blood in 57 newborn calves. *Vet. Rec.* 161, 688-691.

BORN, G. V., G. S. DAWES, J. C. MOTT and B. R. RENNICK (1956): The constriction of the ductus arteriosus caused by oxygen and by asphyxia in newborn lambs. *J. Physiol.* 132, 304-342.

BOSTEDT, H., B. LINKE, P. SANFTLEBEN, J. FLOR und R. BRUNNER (2009): Zur postnatalen Lungenentwicklung beim bovinen Neonaten und deren Bedeutung für die Manifestation pulmonaler Affektionen. Tagungsbericht der DVG-Buiatrik-Tagung, Berlin, 66-69.

BRAUER, C., D. HÖLTIG, I. HENNIG-PAUKA, M. BEYERBACH, H. GASSE, M. HEWICKER-TRAUTWEIN, G.-F. GERLACH und K.-H. WALDMANN (2011): Computertomographie der Lunge des Schweines. *Tierärztl. Prax. (G)* 39, 205-214.

BRAUN, U., C. SCHWARZWALD, E. FORSTER, M. BECKER-BIRCK, N. BOREL and S. OHLERTH (2011): Extraskelatal osteosarcoma of the thorax in a goat: case report. *BMC Vet. Res.* 7: 55.

BRAUN, U., K. STEININGER, M. IRMER, R. HAGEN, S. OHLERTH, S. RUHL und P. OSSENT (2009): Ultraschall- und CT-Befunde bei einer Ziege mit Thymom im Mediastinum. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 151, 332-335.

BUCHANAN, J. W. (2000): Vertebral scale system to measure heart size in radiographs. *Vet. Clin. North. Am. (Small Anim. Pract.)* 30, 379-393.

BUCHANAN, J. W. and J. BUCHELER (1995): Vertebral scale system to measure canine heart size in radiographs. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 206, 194-199.

BURK, R. L. (1991): Computed tomography of thoracic diseases in dogs. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 199, 617-621.

CASTLEMAN, W. L. and J. C. LAY (1990): Morphometric and ultrastructural study of postnatal lung growth and development in calves. *Am. J. Vet. Res.* 51, 789-795.

COLLINS, J. (2001): CT signs and patterns of lung disease. *Radiol. Clin. North. Am.* 39, 1115-1135.

DE RYCKE, L. M., I. M. GIELEN, P. J. SIMOENS and H. VAN BREE (2005): Computed tomography and cross-sectional anatomy of the thorax in clinically normal dogs. *Am. J. Vet. Res.* 66, 512-524.

DE ZABALA, L. E. and D. E. WEINMAN (1984): Prenatal development of the bovine lung. *Anat. Histol. Embryol.* 13, 1-14.

DENIZ, E. (1964): Die Blutgefäßversorgung des Thymus beim Kalb. *Zentralbl. Vet. Med. A.* 11, 749-759.

DENNLER, M., M. MAKARA, A. KRANJC, M. SCHNYDER, P. OSSENT, P. DEPLAZES, S. OHLERTH and T. M. GLAUS (2011): Thoracic computed tomography findings in dogs experimentally infected with *Angiostrongylus vasorum*. *Vet. Radiol. Ultrasound* 52, 289-294.

DIRKSEN, G., H. D. GRÜNDER und M. STÖBER (2006): Krankheiten von Bronchen und Lunge. In: *Innere Medizin und Chirurgie des Rindes*. 5. Aufl., Hrsg. G. Dirksen, H.-D. Gründer, M. Stöber, Parey Buchverlag in MVS Medizinverlage, 295-344

DREES, R., A. FRYDRYCHOWICZ, N. S. KEULER, S. B. REEDER and R. JOHNSON (2011): Pulmonary angiography with 64-multidetector-row computed tomography in normal dogs. *Vet. Radiol. Ultrasound* 52, 362-367.

EBERLE, N., M. FORK, V. VON BABO, I. NOLTE and D. SIMON (2011): Comparison of examination of thoracic radiographs and thoracic computed tomography in dogs with appendicular osteosarcoma. *Vet. Comp. Oncol.* 9, 131-140.

EBERT, U., H.-H. FREY und R. SCHULZ (2007): *Pharmakologie des zentralen Nervensystems (ZNS)*. Sonderausgabe der 2. Aufl., Hrsg. H.-H. Frey, W. Löscher. Enke Verlag, Stuttgart, 87-138.

EGAN, E. A., R. E. OLVER and L. B. STRANG (1975): Changes in non-electrolyte permeability of alveoli and the absorption of lung liquid at the start of breathing in the lamb. *J. Physiol.* 244, 161-79.

FEENEY, D. A., T. F. FLETCHER and M. H. ROBERT (1991): *Atlas of Correlative Imaging Anatomy of the Normal Dog: Ultrasound and Computed Tomography*. W. B. Saunders, Philadelphia.

FIKE, J. R., E. M. DRUY, B. C. ZOOK, D. O. DAVIS, J. E. THOMPSON, E. CHANEY and E. W. BRADLEY (1980): Canine anatomy as assessed by computerized tomography. *Am. J. Vet. Res.* 41, 1823-1832.

GHAYE, B., J. REMY and M. REMY-JARDIN (2002): Non-traumatic thoracic emergencies: CT diagnosis of acute pulmonary embolism: the first 10 years. *Eur. Radiol.* 12, 1886-1905.

GUSTIN, P., M. BAKIMA, T. ART, P. LEKEUX, F. LOMBA and K. P. VAN DE WOESTIJNE (1988): Pulmonary function values and growth in Belgian white and blue double-muscled cattle. *Res. Vet. Sci.* 45, 405-410.

HABEL, R. E., J. FREWEIN and W. O. SACK (1983): *Nomina Anatomica Veterinaria*. 3rd edn., Ithaca, New York.

HABING, A., J. C. COELHO, N. NELSON, A. BROWN, M. BEAL and J. KINNS (2011): Pulmonary angiography using 16 slice multidetector computed tomography in normal dogs. *Vet. Radiol. Ultrasound.* 52, 173-178.

HARVEY, C. E. and E. A. FINK (1982): Tracheal diameter: Analysis of radiographic measurements in brachycephalic and non-brachycephalic dogs. *J. Anim. Hosp. Assoc.* 18, 570-576.

HASKIN, P. H. and L. R. GOODMAN (1982): Normal tracheal bifurcation angle: a reassessment. *Am. J. Roentgenol.* 139, 879-882.

HENJES, C., I. NOLTE and P. WEFSTAEDT (2011): Multidetector-row computed tomography of thoracic aortic anomalies in dogs and cats: Patent ductus arteriosus and vascular rings. *BMC Vet. Res.* 7: 57.

HENNINGER, W. (2003): Use of computed tomography in the diseased feline thorax. *J. Small. Anim. Pract.* 44, 56-64.

HUGHES, J. M., J. B. GLAZIER, J. E. MALONEY and J. B. WEST (1968): Effect of extra-alveolar vessels on distribution of blood flow in the dog lung. *J. Appl. Physiol.* 25, 701-712.

JACOBI, V. und A. THALHAMMER (2006): Grundmuster im CT der Lunge und ihre Differenzialdiagnose. *Radiologie up2date* 6, 311, 334.

JOHNSON, V. S., I. K. RAMSEY, H. THOMPSON, T. A. CAVE, F. J. BARR, H. RUDORF, A. WILLIAMS and M. SULLIVAN (2004): Thoracic high-resolution computed tomography in the diagnosis of metastatic carcinoma. *J. Small. Anim. Pract.* 45, 134-143.

JOHNSON, V. S., B. M. CORCORAN, P. R. WOTTON, T. SCHWARZ and M. SULLIVAN (2005): Thoracic high-resolution computed tomographic findings in

dogs with canine idiopathic pulmonary fibrosis. J. Small. Anim. Pract. 46, 381-388.

JUNG, C. (2002): Sonographie der Lunge und des Abdomens beim bovinen Neonaten unter besonderer Berücksichtigung pathologischer Veränderungen. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Giessen.

JUNG, J., J. CHANG, S. OH, J. YOON and M. CHOI (2010): Computed tomography angiography for evaluation of pulmonary embolism in an experimental model and heartworm infested dogs. Vet. Radiol. Ultrasound 51, 288-293.

KARABULUT, N. (2005): CT assessment of tracheal carinal angle and its determinants. Br. J. Radiol. 78, 787-790.

KASARI, T. R. (1994): Physiologic mechanisms of adaptation in the fetal calf at birth. Vet. Clin. North. Am. (Food Anim. Pract.) 10, 127-136.

KENNEDY, J. A. and S. L. CLARK (1941): Observations on the ductus arteriosus of the guinea pig in relation to its method of closure. Anat. Rec. 79, 349-371.

KRÜGER, S. (2012): Sonographische Untersuchungen an Haube, Pansen, Psalter, Labmagen, Milz und Leber von Kälbern von der Geburt bis zum Alter von 100 Tagen. Dissertation, Universität Zürich.

LEBLANC, M. and N. PAUL (2010): V/Q SPECT and computed tomographic pulmonary angiography. Semin. Nucl. Med. 40, 426-441.

LEE, K., M. KISHIMOTO, J. SHIMIZU, T. IWASAKI, Y. MIYAKE and K. YAMADA (2010): Effect of a saline chaser for contrast enhancement of computed tomographic angiography in cattle. Vet. Rec. 166, 137-139.

LEHMKUHL, L. B., J. D. BONAGURA, D. S. BILLER and W. M. HARTMAN (1997): Radiographic evaluation of caudal vena cava size in dogs. Vet. Radiol. Ultrasound 38, 94-100.

LEKEUX, P., R. HAJER and H. J. BREUKINK (1984): Effect of somatic growth on pulmonary function values in healthy Friesian cattle. Am. J. Vet. Res. 45, 2003-2007.

LINDI, J. (1960): Changes in the circulation and lungs at birth. Acta Paediatrica 49, 39-52.

LINKE, B. (2009): Computertomographische Untersuchungen zur Erfassung der Lungenfunktion bei vitalen Kälbern in der frühen postnatalen Periode. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Giessen.

LUBBERS, B. V., M. D. APLEY, J. F. COETZEE, D. A. MOSIER, D. S. BILLER, D. E. MASON and P. N. HENAO-GUERRERO (2007): Use of computed tomography to evaluate pathologic changes in the lungs of calves with experimentally induced respiratory tract disease. *Am. J. Vet. Res.* 68, 1259-1264.

MAKARA, M., M. DENNLER, K. KUHN, K. KALCHOFNER and P. KIRCHER (2011): Effect of contrast medium injection duration on peak enhancement and time to peak enhancement of canine pulmonary arteries. *Vet. Radiol. Ultrasound* 52, 605-610.

MATTOON, J. S., T. C. GERROS and M. BRIMACOMBE (2001): Thoracic radiographic appearance in the normal llama. *Vet. Radiol. Ultrasound* 42, 28-37.

McLAUGHLIN, R. F., W. S. TYLER and R. O. CANADA (1961): A study of the subgross pulmonary anatomy in various mammals. *Am. J. Anat.* 108, 149-165.

McNAMARA, A. E., N. L. MULLER, M. OKAZAWA, J. ARNTORP, B. R. WIGGS and P. D. PARE (1992): Airway narrowing in excised canine lungs measured by high-resolution computed tomography. *J. Appl. Physiol.* 73, 307-316.

MORANDI, F., J. S. MATTOON, J. LAKRITZ, J. R. TURK and E. R. WISNER (2003): Correlation of helical and incremental high-resolution thin-section computed tomographic imaging with histomorphometric quantitative evaluation of lungs in dogs. *Am. J. Vet. Res.* 64, 935-944.

MURRAY, J. G., A. L. BROWN, E. A. ANAGNOSTOU and R. SENIOR (1995): Widening of the tracheal bifurcation on chest radiographs: value as a sign of left atrial enlargement. *Am. J. Roentgenol.* 164, 1089-1092.

MURRAY, K., M. GOSSELIN, M. ANDERSON, G. BERGES and E. BACHMAN (2002): Distribution of lung disease. *Semin. Ultrasound CT MR* 23, 352-371.

NICKEL, R., A. SCHUMMER, K.-H. WILLE und H. WILKENS (2001): Knochenlehre. In: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band I, 7. Aufl., Hrsg. J. Frewein, K.-H. Wille und H. Wilkens, Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschaftsverlag, 15-202.

NUGENT, R. A., 3rd, D. R. NOTTER and W. E. BEAL (1991): Body measurements of newborn calves and relationship of calf shape to sire breeding values for birth weight and calving ease. *J. Anim. Sci.* 69, 2413-2421.

OHLERTH, S., M. BECKER-BIRCK, H. AUGSBURGER, R. JUD, M. MAKARA and U. BRAUN (2010): Computed tomography measurements of thoracic structures in 26 clinically normal goats. *Res. Vet. Sci.* 92, 7-12.

PRATHER, A. B., C. R. BERRY and D. E. THRALL (2005): Use of radiography in combination with computed tomography for the assessment of noncardiac thoracic disease in the dog and cat. *Vet. Radiol. Ultrasound* 46, 114-121.

PUNTO, L. V., T. O. NEVALAINEN, S. A. WILJASALO and I. V. O. ALITALO (1984): Computed tomography of aspiration pneumonia in a dog. *Vet. Radiology* 25, 43-45.

RADEMACHER, G. (2007): Infektionskrankheiten. In: Kälberkrankheiten, Ursachen und Früherkennung, neue Wege für Vorbeugung und Behandlung. 3. Aufl., Hrsg. G. Rademacher, BLV Verlagsgesellschaft, 39-82

REMY-JARDIN, M. and J. REMY (1999): Spiral CT angiography of the pulmonary circulation. *Radiology* 212, 615-636.

REUTER, M. and J. BIEDERER (2009): Identification of lung architecture using HRCT. *Radiologe* 49, 159-172.

RIVERO, M. A., J. A. RAMÍREZ, J. M. VÁZQUEZ, F. GIL, G. RAMÍREZ and A. ARENCIBIA (2005): Normal anatomical imaging of the thorax in three dogs: Computed tomography and macroscopic cross sections with vascular injection. *Anat. Histol. Embryol.* 34, 215-219.

SCHNETZLER, C. (2012): Computertomographische Untersuchung des Abdomens von Kälbern von der Geburt bis zum Alter von 105 Tagen. Dissertation, Universität Zürich.

SCHULLER, S., M. FREDERICKSEN, H. SCHRÖDER, A. MEYER-LINDENBERG, M. HEWICKER-TRAUTWEIN and I. NOLTE (2005): Computertomographische Differenzierung von intrathorakalen Neoplasien und Entzündungen beim Hund. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.* 118, 76-84.

SCHUMMER, A. und K.-H. HABERMEHL (1996): Herz. In: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band III, 3. Aufl., Hrsg. K.-H. Habermehl, B. Vollmerhaus,

H. Wilkens, H. Waibl, Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschaftsverlag, 17-73.

SCHWARZ, L. A. and A. S. TIDWELL (1999): Alternative imaging of the lung. *Clin. Tech. Small. Anim. Pract.* 14, 187-206.

SEILER, G. S., T. J. NOLAN, E. WITHNALL, C. REYNOLDS, J. B. LOK and M. M. SLEEPER (2010): Computed tomographic changes associated with the prepatent and early patent phase of dirofilariasis in an experimentally infected dog. *Vet. Radiol. Ultrasound* 51, 136-140.

SMALLWOOD, J. and T. GEORGE (1993): Anatomic atlas for computed tomography in the mesocephalic dog: thorax and cranial abdomen. *Vet. Radiol. Ultrasound* 34, 65-84.

SMALLWOOD, J. and W. HEALEY (1982): Computed tomography of the thorax of the adult Nubian goat. *Vet. Radiology* 23, 135-143.

SUZUKI, K., E. UCHIDA, K. E. SCHÖBER, A. NIEHAUS, M. D. RINGS and J. LAKRITZ (2012): Cardiac troponin I in calves with congenital heart disease. *J. Vet. Intern. Med.* 26, 1056-1060.

TIDWELL, S. A., J. P. GRAHAM, J. N. PECK and C. R. BERRY (2007): Incidence of pulmonary embolism after non-cemented total hip arthroplasty in eleven dogs: computed tomographic pulmonary angiography and pulmonary perfusion scintigraphy. *Vet. Surg.* 36, 37-42.

UYSTÉPRUYST, C. H., P. REINHOLD, J. COGHE, F. BUREAU and P. LEKEUX (2000): Mechanics of the respiratory system in healthy newborn calves using impulse oscillometry. *Res. Vet. Sci.* 68, 47-55.

VOLLMERHAUS, B. und H. ROOS (1996): Speiseröhre, Magen, Darm, Darm-anhangsdrüsen. In: *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*, Band II, 8. Aufl., Hrsg. J. Frewein, H. Gasse, R. Leiser, H. Roos, H. Thomé, B. Vollmerhaus, H. Waibl, Parey Verlag im Blackwell Wissenschaftsverlag, 103-195.

VOLLMERHAUS, B. (1996): Lymphatisches System. In: *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*, Band III, 3. Aufl., Hrsg. K.-H. Habermehl, B. Vollmerhaus, H. Wilkens und H. Waibl, Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschaftsverlag, 276-422.

WAIBL, H. (1999): Atmungsapparat. In: *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*, Band II, 8. Aufl., Hrsg. J. Frewein, H. Gasse, R. Leiser, H. Roos, H. Thomé, B.

Vollmerhaus, H. Waibl, Parey Verlag im Blackwell Wissenschaftsverlag, 223-297.

WAIBL, H. und H. WILKENS (1996a): Arterien. In: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band III, 3. Aufl., Hrsg. K.-H. Habermehl, B. Vollmerhaus, H. Wilkens, H. Waibl, Parey Verlag im Blackwell Wissenschaftsverlag, 74-182.

WAIBL, H. und WILKENS, H. (1996b): Venen. In: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band III, 3. Aufl., Hrsg. K.-H. Habermehl, B. Vollmerhaus, H. Wilkens, H. Waibl, Parey Verlag im Blackwell Wissenschaftsverlag, 189-275.

WINTERS, K. B., A. S. TIDWELL, E. A. ROZANSKI, R. JAKOWSKI and A. M. HOFFMAN (2006): Characterization of severe small airway disease in a puppy using computed tomography. *Vet. Radiol. Ultrasound* 47, 470-473.

WION, L., G. PERKINS, D. M. AINSWORTH, N. L. DYKES and T. J. DIVERS (2001): Use of computerised tomography to diagnose a *Rhodococcus equi* mediastinal abscess causing severe respiratory distress in a foal. *Equine Vet. J.* 33, 523-526.

WOOD, S. A., E. A. ZERHOUNI, J. D. HOFORD, E. A. HOFFMAN and W. MITZNER (1995): Measurement of three-dimensional lung tree structures by using computed tomography. *J. Appl. Physiol.* 79, 1687-1697.

ZERBE, H., D. K. ZIMMERMANN und A. BENDIX (2008): Früh- und Spätasphyxie beim Kalb: Diagnostik, Therapie und Prophylaxe - Eine Übersicht. *Tierärztl. Prax. (G)* 36, 163-169.

ZOOK, B. C., R. A. HITZELBERG and E. W. BRADLEY (1989): Cross-sectional anatomy of the beagle thorax. *Vet. Radiology* 30, 277-281.

9. Anhang

Anhang 1: Behandlungen der Kälber 2, 4, 5, 7 und 8 innerhalb der ersten 105 Lebenstage (Einstellprophylaxe ausgenommen)

Tag/ Kalb	Advocid®				Cobactan®		Clamoxyl®	Nuflor®	Draxxin®	Flunixinim®			Ventipulmin®	Bisolvon®		Vetibenzamin®
	2	5	7	8	4	7	4	7	7	4	7	8	2	5	7	7
1																
2											+					
19			+									+				
20			+													
21			+	+								+				
22	+			+									+			
23	+			+									+			
24	+															
25	+															
26	+															
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																

Fortsetzung Anhang 1

Tag/ Kalb	Advocid [®]				Cobactan [®]			Clamoxyl [®]	Nuflor [®]	Draxxin [®]	Flunixinim [®]			Ventipulmin [®]	Bisolvon [®]		Vetibenzamin [®]
	2	5	7	8	4	7					4	7	8		5	7	
40					+												
41		+	+		+							+			+		
42		+	+	+									+		+		
43		+	+	+											+		
44		+		+											+		
45		+													+		
46		+													+		
47		+													+		
59	+																
60	+																
61	+																
62			+									+			+		
63			+	+		+		+					+		+		
64				+		+		+			+				+		
65				+		+		+			+				+		
66						+		+			+				+		
67						+		+							+		
68						+		+							+		
69						+		+							+		
70								+	+						+		
71								+							+		
72								+	+						+		
73															+		
74									+								

Fortsetzung Anhang 1

Tag/ Kalb	Advocid [®]				Cobactan [®]		Clamoxyl [®]	Nuflor [®]	Draxxin [®]	Flunixinim [®]			Ventipulmin [®]	Bisolvon [®]		Vetibenzamin [®]
	2	5	7	8	4	7				4	7	8		5	7	
83								7	+			+	2	5	7	7
84				+								+				+
85				+												
86				+												

Tab. 15: Kalb 4

Abnorme Befunde	Kraniale Lungenlappen						Kaudale Lungenlappen																							
	Links						Rechts						Links						Rechts						Lobus access.					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6						
CT-Untersuchung	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6						
Verdickte Interlobularsepten							2			3	3		2		3	3			2											
Verdickte Intralobularsepten										3	3				3	3														
Milchglasartige Verschattungen	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	3	1	1	3	2	2	3	1	3	2	2	2						
Bronchioloektasien												2																		
Verdickte Pleura visceralis																						1	1							
Mosaikmuster											3					3						3		3						

Tab. 16: Kalb 5

Abnorme Befunde	Kraniale Lungenlappen						Kaudale Lungenlappen																		
	Links			Rechts			Links						Rechts						Lobus access.						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
CT-Untersuchung	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Verdickte Interlobularsepten							2	1	1				2	1	1				2	1	1				
Verdickte Intralobularsepten																									
Milchglasartige Verschattungen	2	2	1	2		1	2	3	4	2	1	1	3	3	1	2	3	3	3	3	3	1	2	4	3
Verdickte Pleura visceralis											2	2						2						2	
Konsolidierungen										2	2							3							

Tab. 17: Kalb 7

Abnorme Befunde	Kraniale Lungenlappen						Kaudale Lungenlappen					
	Links			Rechts			Links			Rechts		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
CT-Untersuchung												
Verdickte Interlobularsepten							2					
Verdickte Intralobularsepten												
Milchglasartige Verschattungen	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
Verdickte Pleura visceralis										1		1
Mikroknoten											3	3
Konsolidierungen						4						

Tab. 18: Kalb 8

Abnorme Befunde	Kraniale Lungenlappen						Kaudale Lungenlappen					
	Links			Rechts			Links			Rechts		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
CT-Untersuchung												
Verdickte Interlobularsepten							2			2		2
Verdickte Intralobularsepten												
Milchglasartige Verschattungen	1	3	2	1	1	2	1	3	3	1	3	3

Anhang 3: Individuelle pathologische Lungenveränderungen

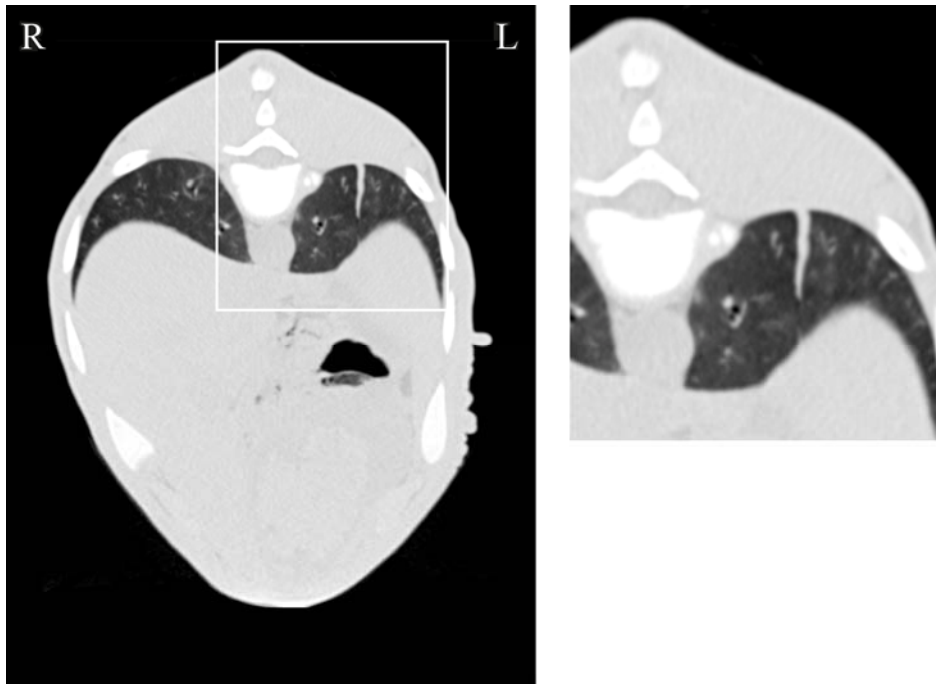


Abb. 33: Parenchymband mit Pleurakontakt im linken kaudalen Lungenlappen bei einem 63 Tage alten HF-Kalb

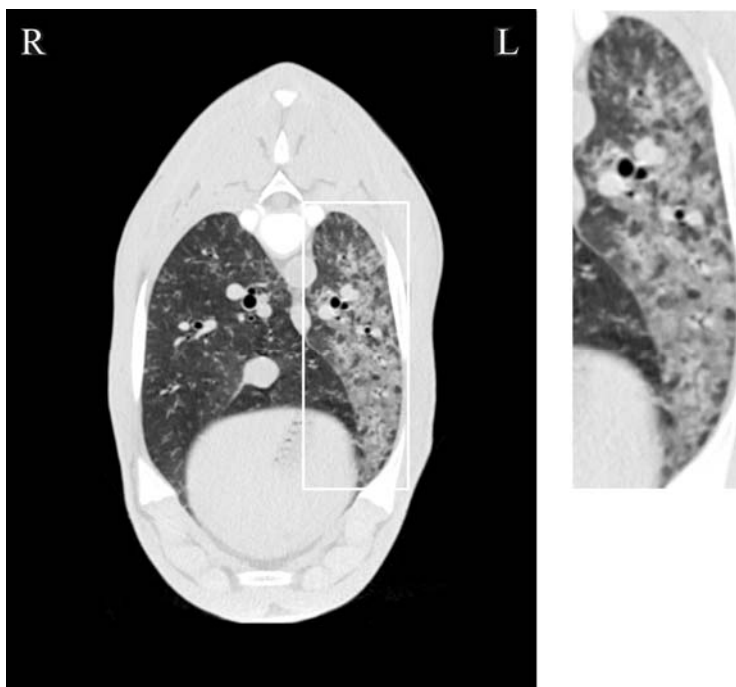


Abb. 34: Konsolidierungen im linken kaudalen Lungenlappen bei einem 63 Tage alten HF-Kalb

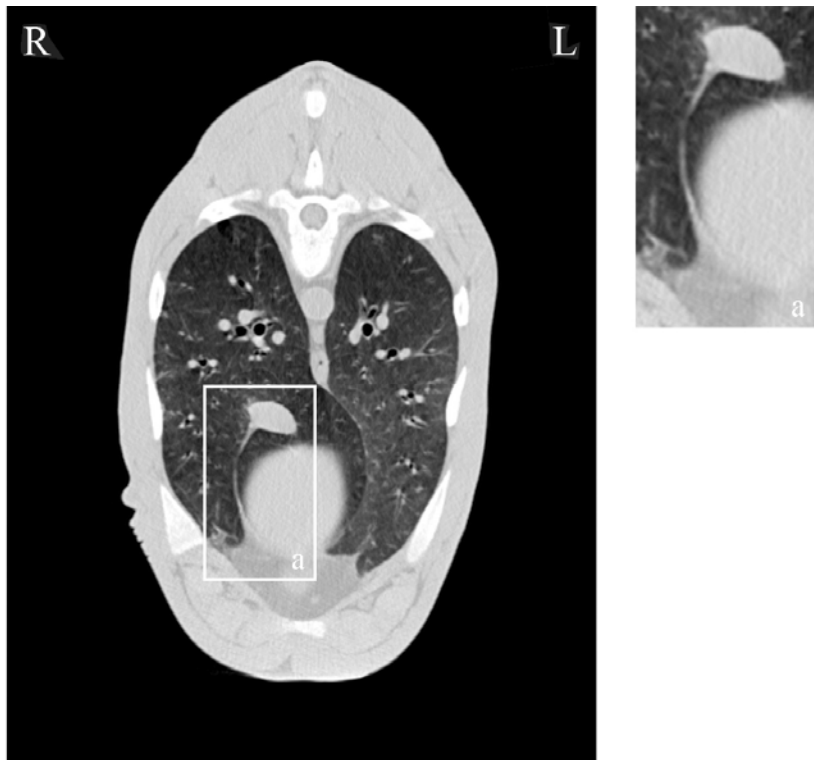


Abb. 35: Leichtgradig verdickte Pleura visceralis im kaudalen Lungenbereich bei einem 63 Tage alten HF-Kalb

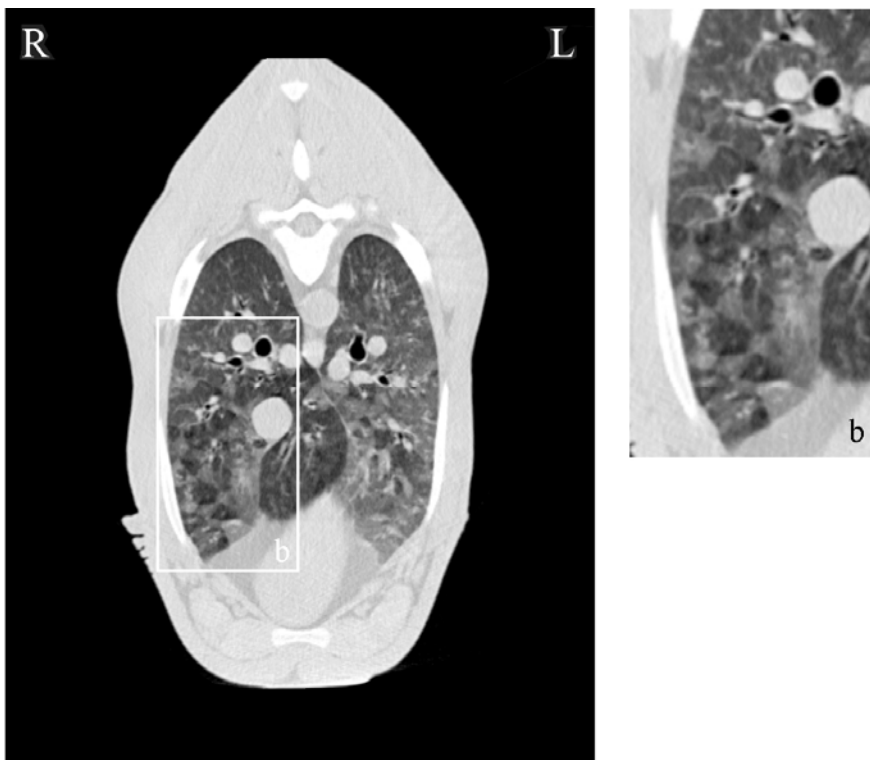


Abb. 36: Mosaikmuster im kaudalen Lungenbereich bei einem 63 Tage alten HF-Kalb



Abb. 37: Bronchioloektasien im kaudalen Lungenbereich bei einem 105 Tage alten HF-Kalb

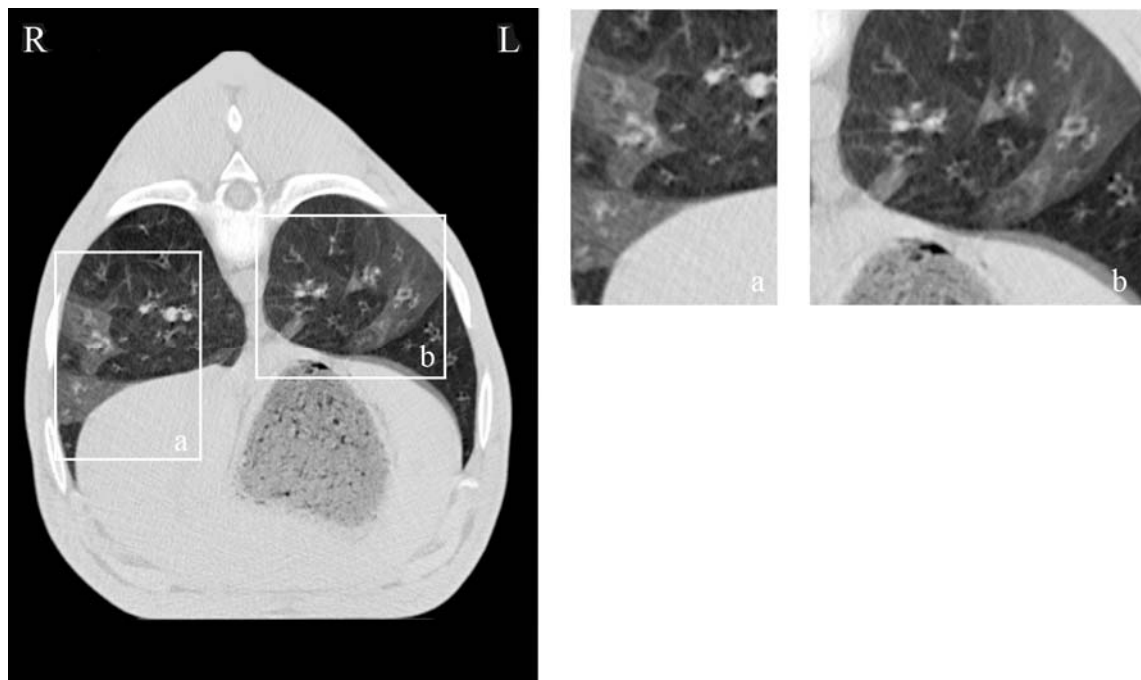


Abb. 38: Leichtgradige milchglasartige Verschattungen in den kaudalen Lungenlappen eines 21 Tage alten HF-Kalbes

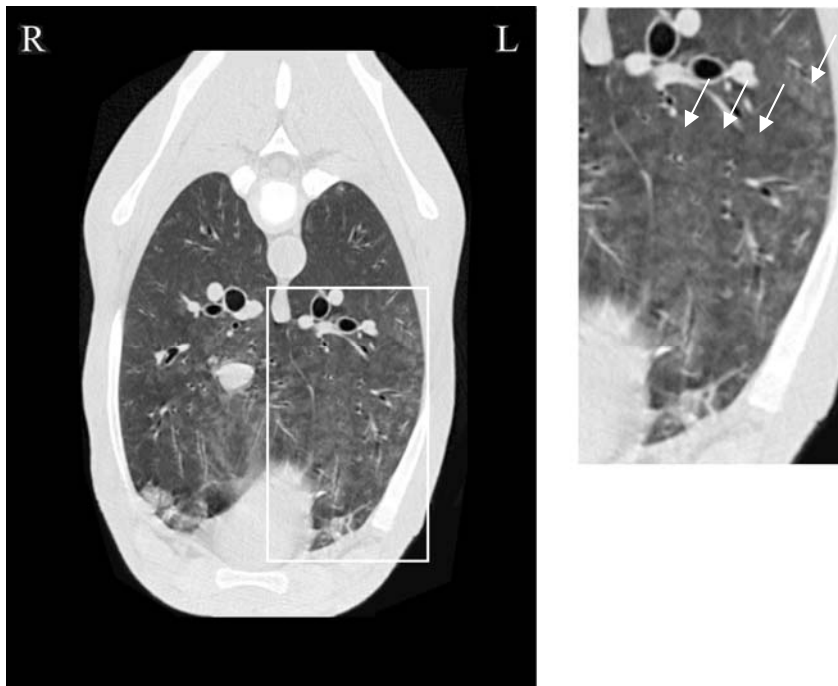


Abb. 39: Mikroknötchen (Pfeilspitzen) mit bronchogenem Verteilungsmuster in den kaudalen Lungenlappen eines 105 Tage alten HF-Kalbes

10. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Allen, die zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben, ganz herzlich danken, insbesondere:

Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. U. Braun für die Überlassung des Themas, die Übernahme des Referats, die Organisation des Gesamtprojekts und die zu jeder Zeit gewährte Unterstützung und Betreuung

Frau PD Dr. S. Ohlerth für die Übernahme des Korreferats, die Hilfe bei der computertomographischen Befundung der Tiere, die statistische Auswertung und die Betreuung

Herrn Prof. Dr. H. Augsburg für die anatomischen Korrekturen

Herrn Prof. Dr. H. Lutz, Veterinärmedizinisches Labor, und seinen Mitarbeiterinnen für die Ausführung der Laboruntersuchungen

Frau Prof. Dr. R. Bettschart, Abteilung für Anästhesiologie, und ihren Mitarbeiterinnen für die Durchführung der Anästhesien während der computertomographischen Untersuchungen

Herrn Prof. Dr. P. Kircher, Abteilung für Bildgebende Diagnostik, und seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die Durchführung der computertomographischen Untersuchungen der Kälber

Herrn U. Müller und Frau K. Süss für die Leitung und die stets freundliche Unterstützung bei der anatomischen Schnittpräparation

Frau D. Betancourt und Frau J. Peter für die digitale Fotografie der anatomischen Gefrierschnitte und die anschliessende Bildbearbeitung

Meiner Kollegin Frau C. Schnetzler für die gemeinsame Durchführung der computertomographischen Untersuchungen und der anatomischen Schnittpräparationen

Meinen Kolleginnen Frau S. Krüger und Frau C. Schnetzler für die gemeinsame klinische Untersuchung aller 6 Kälber

Den Tierpflegerinnen und Tierpflegern des Departements für Nutztiere für die optimale Betreuung der Kälber.